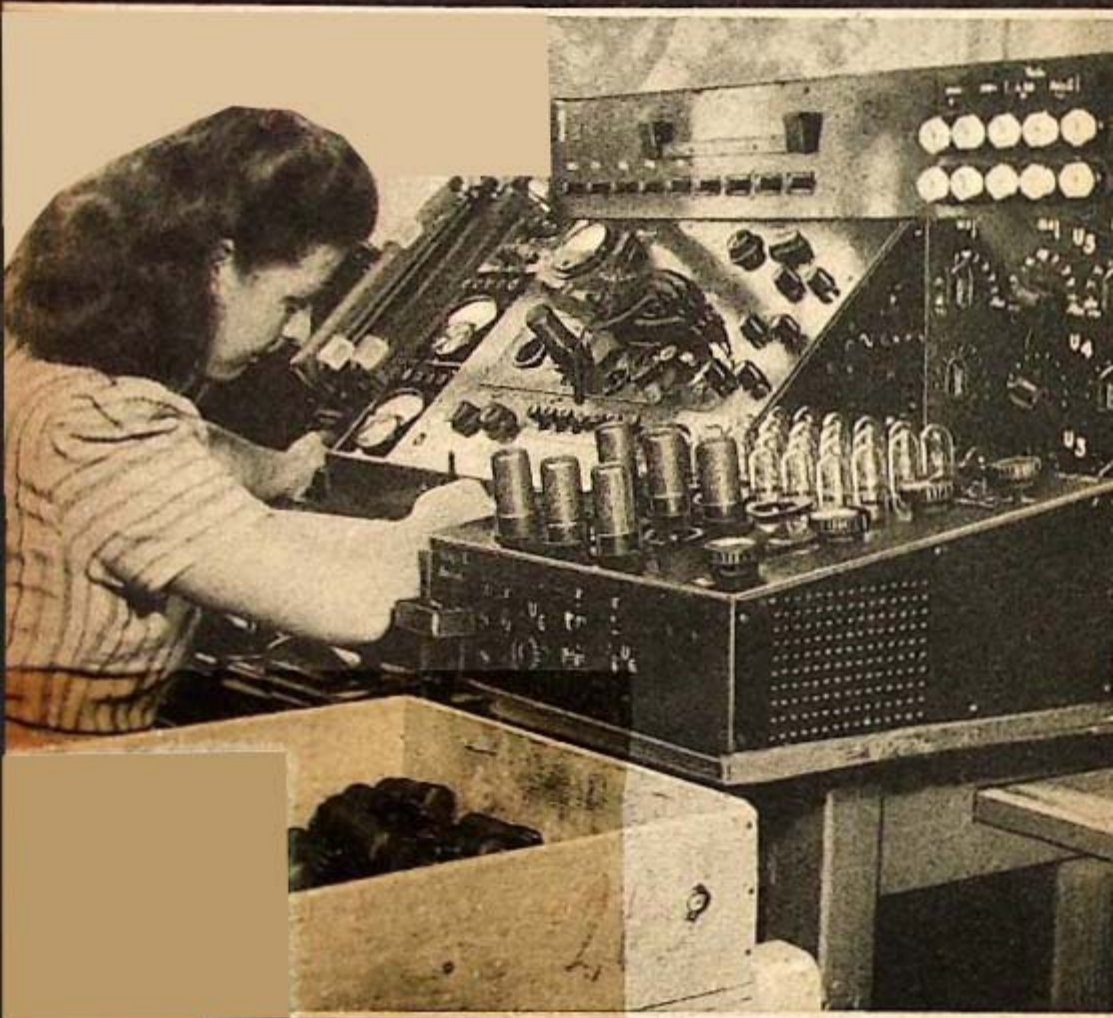
radio
PRAKTIKER
bücherei

HERBERT G. MENDE

Radio-Röhren

Wie sie wurden und was sie leisten



18/19

FRANZIS-VERLAG · MÜNCHEN

radio PRAKTIKER bücherei

Um dem neu entstandenen Bedürfnis zu dienen, über wichtige und aktuelle Teilgebiete der praktischen Radiotechnik durch nicht zu umfangreiche, in sich abgeschlossene und vor allem billige Bändchen unterrichtet zu werden, wird die neue **Radio-Praktiker-Bücherei** herausgegeben. Leicht verständlich, aber technisch zuverlässig, inhaltreich und doch billig sind alle Bände dieser neuen radiotechnischen Bücherei. Namhafte Autoren sind ihre Mitarbeiter, die sich diesem neuen Vorhaben in der richtigen Erkenntnis zur Verfügung stellten, daß es heute mehr denn je darauf ankommt, jedem einzelnen Interessenten, vor allem auch dem Lernenden, dem Schüler, Studenten und Lehrling, den Aufbau einer kleinen radiotechnischen Bibliothek zu ermöglichen. Deshalb wurden Umfang, Ausstattung und Preis so aufeinander abgestimmt, daß für den aufzuwendenden niedrigen Betrag ein Optimum an Wissensstoff und Unterlagen geboten werden kann.

Die **Radio-Praktiker-Bücherei** wendet sich in gleicher Weise an den Fachmann und an den Liebhaber. Dem ersteren will sie oft benötigte technische Unterlagen in bequemer Form zur Verfügung stellen, den letzteren will sie in die heute besonders interessierenden Sondergebiete einführen, ihn zu einem tieferen Studium anregen, ihm ein steter Freund und Begleiter sein. So wird die neue Bücherei von Rundfunktechnikern und Mechanikern, von den Mitarbeitern der Laboratorien und Werkstätten in Industrie und Handel, von Radiolieblabern aller Sparten, Schülern, Lehrlingen und Studenten gern benutzt. Für jedes aktuelle Thema eine Nummer, und jede Nummer kostet nur 90 Pf. So ist die Radio-Praktiker-Bücherei eine Fundgrube radiotechnischen Wissens, jedem erschwinglich.

Ausführliches Verzeichnis am Schluß des Heftes

Jede Nr. 90 Pfg.

Radio-Röhren

Wie sie wurden, was sie leisten und anderes, was nicht im Barkhausen steht

Von

HERBERT G. MENDE

Beratender Ingenieur

Mit 65 Bildern

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

Verlag der G. Franz'schen Buchdruckerei G. Emil Mayer

Heft 18/19 der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

Das Umschlagbild zeigt
die abschließende Kontrolle der Röhren am Universal-Meßtisch
(Telefunken-Röhrenwerk)

1950

Druck: G. Franz'sche Buchdruckerei G. Emil Mayer, München 2, Luisenstraße 17

Vorwort

In knapp fünf Jahrzehnten erlebte die Elektronenröhre eine stürmische Entwicklung vom physikalischen Gerät zum unentbehrlichen Massenartikel. Ungezählte Physiker und Fachleute der Technik benutzen sie heute in aller Welt. Millionen Röhren arbeiten in Rundfunksendern und -empfängern, hunderttausende in allen Sparten der drahtgebundenen Technik und in zahllosen Meß- und Kontrollgeräten der Naturwissenschaften und der Technik.

Ihre Eigenschaften sind bequem in Tabellen und Kurven ablesbar. Und so kommt es, daß sich höchst selten einer ihrer Benutzer Gedanken über ihren inneren Aufbau macht. Dabei sind die konstruktiven und technologischen Probleme ihres inneren Aufbaues nicht nur äußerst interessant, vielmehr vermittelt ihre Kenntnis auch wertvolle Anregungen für den praktischen Umgang mit Röhren.

Das vorliegende Bänddien der Radio-Praktiker-Bücherei will nun denen, die beruflich oder aus Liebhaberei mit Röhren zu tun haben, einen Einblick in dieses wenig bekannte Randgebiet der Hochfrequenztechnik geben, Verständnis für die Eigentümlichkeiten der Röhre wecken und über die mühevollen Wege und Umwege berichten, die zur modernen Röhrenkonstruktion führten.

Rahden/Westf. Herbert G. Mende

Inhalt

Vorwort 4

I. Einleitung 5

II. Elektrisch bedingte Röhrenformen 6

1. Nullode 6

2. Dioden 6

3. Trioden 8

4. Tetroden 13

5. Pentoden 15

6. Hexoden 19

7. Heptoden 20

8. Oktoden 20

9. Nonode 22

10. Verbundröhren 23

III. Verschiedene Konstruktions- und Herstellungsfragen 26

1. Allgemeines 26

2. Quetschfußröhren und Glastechnologie 32

3. Metallröhren 35

4. Keramische und Preßglasröhren 40

5. Einzelheiten über:

a) Katoden 47

b) Steuer- und Hilfsgitter 62

c) Anoden 72

d) Elektronenbündelung und Abschirmmaßnahmen 77

e) Systemzusammenbau 84

f) Vakuum und Getter 93

g) Sockelung 101

IV. Einige besondere Probleme bei Spezialröhren 106

V. Typenbezeichnungen einiger älterer und neuerer Röhrenserien 115

VI. Literaturverzeichnis 126

I. Einleitung

Dank ihrer Eigenschaft, Wechselströme und -spannungen großer Frequenzbereiche erzeugen, verstärken und gleichrichten zu können, ist die Elektronenröhre, kurz Röhre genannt, zu einem unentbehrlichen Bauelement der modernen Technik aller Gebiete geworden. Wie bei jedem Gebrauchsgegenstand, bestimmen die Forderungen der Verbraucherseite einerseits und die wirtschaftlichsten Fabrikationsmöglichkeiten andererseits auch bei der Röhre das äußere Erscheinungsbild und die Einzelheiten des inneren Aufbaues. Gegenüber anderen Massenerzeugnissen mußte aber die Röhre in weit höherem Maße dem jeweiligen Entwicklungsstand der Technik angepaßt werden. Dabei wurde von der ersten Lieben-Röhre bis zur modernen Pico-Röhre ein langer arbeitsreicher Weg zurückgelegt. Innerhalb dieses Entwicklungsweges ist die deutsche Stahlröhre ein markanter Wendepunkt. Mit ihr wurden alle damaligen Wünsche der Schaltungstechniker erfüllt, und mit ihr begann die Ära der einendigen, also von Kolbenanschlüssen befreiten, Röhre. Heute hat die Entwicklung der Schaltungstechnik einen gewissen Abschluß erreicht; sie wird nur noch in Richtung auf immer höhere Frequenzgebiete weiter getrieben. Daher wird die Konstruktion der modernen Röhre vorwiegend nur noch von den Gesetzen wirtschaftlicher Fertigung bestimmt.

Alle wesentlichen Schwierigkeiten konstruktiver und fabrikatorischer Art ergeben sich aus der Tatsache, daß die Röhre aus physikalischen Gründen ein Vakuum für ihre Arbeitsweise benötigt. Der in diesem Vakuum gesteuerte Elektronenstrom wird normalerweise von einer Glühkatode geliefert, die auch eine unerwünschte Erwärmung des übrigen Systems verursacht. Daher ist auch der Wärmehaushalt der Röhre ein nicht zu unterschätzendes Fabrikationsproblem. Wie weit die damit zusammenhängenden Schwierigkeiten heute beherrscht werden, können wir aus den folgenden Abschnitten ersehen. Die elektrische Entwicklung der Röhre strebt asymptotisch einem endgültigen Höchststand zu, während

der Kampf um die wirtschaftlichsten Herstellungsverfahren noch im vollen Gange ist. So ist auch die Frage der Kompromisse zwischen Qualität der Röhre und Herstellungskosten und die der Normung der Systemteile [1][1]) durchaus noch offen.

Die ersten serienmäßig hergestellten Rundfunkröhren entstammten einer Seitenlinie der Glühlampenfabrikation. Viele Arbeitsgänge und Herstellungsverfahren hatten dort ihren Ursprung und finden sich z. T. erheblich verfeinert noch bei modernen Röhren vor. Die im Laufe der Entwicklung auf Grund erweiterter physikalischer Erkenntnisse erzielten Verbesserungen kamen im wesentlichen der Leistungsfähigkeit der Katode sowie der Erfüllung elektrischer Wünsche zugute.

II. Elektrisch bedingte Röhrenformen

1. Nullode (LG 71, LG 73, LG 75 u. a.)

Wie der Name andeutet, weist die Nullode überhaupt keine Elektroden auf. Sie besteht normalerweise aus einer allseitig geschlossenen hohlen Glasrohrwandung mit Gasfüllung, die in eine konzentrische Leitung eingeschoben werden kann. Außenwandung und Innenleiter der konzentrischen Leitung übernehmen dabei die Aufgabe der Elektroden. In dieser Anordnung wird die Nullode benutzt, um z. B. den Empfängereingang eines Funkmeßgerätes zu sperren, wenn der an gleicher Antenne arbeitende (impulsgesteuerte) Sender arbeitet. Übersteigt nämlich die Senderausgangsspannung einen bestimmten Wert, so zündet die Gasfüllung der Nullode, sie wird also leitend und schließt den Empfängereingang kurz. Für Rundfunkzwecke wurde sie bisher nicht benutzt.

2. Dioden = Zweipolröhren

Die einfachste, mit nur zwei Elektroden (Katode und Anode) versehene Röhre ist die Gleichrichtungszwecken dienende Diode. Abgesehen von Netzgleichrichtern (CY 1,

[1]) Siehe Literaturverzeichnis.

UY 1, VY 2 usw.) findet man meist zwei solcher Zweipolstrecken mit gemeinsamer Katode in einem Glaskolben vor. Die zweite Diodenstrecke bringt kaum eine Verteuerung, für den Geräteentwickler jedoch eine Erweiterung der schaltungstechnischen Möglichkeiten, wie Vollweggleichrichtung im Netzteil und Auftrennen der Gleichrichtung in der Demodulationsstufe zur Gewinnung der Niederfrequenzspannung einerseits und der Regelgleichspannung andererseits.

Bei einer Duodiode für Empfangsgleichrichtung kommt es darauf an, bei nicht zu großer Anoden-Katoden-Kapazität die Kapazität zwischen den Anoden beider Systeme möglichst klein zu halten. Durch geschickte Anordnung wird diese Forderung leicht erfüllt, da die Anodenzylinder hochkant zueinander stehen können. Wie **Bild 1** am Beispiel der KB 2 zeigt, weist die eine Anodenfahne nach links, die zweite nach rechts. Die Kapazität zwischen den Anoden läßt sich dadurch auf weniger als 1 pF herabsetzen, was eine vernachlässigbare Kopplung der beiden an den Diodenstrecken liegenden Kreise gewährleistet. Die für Batteriebetrieb bestimmte Duodiode aus Bild 1 wird übrigens ausnahmsweise

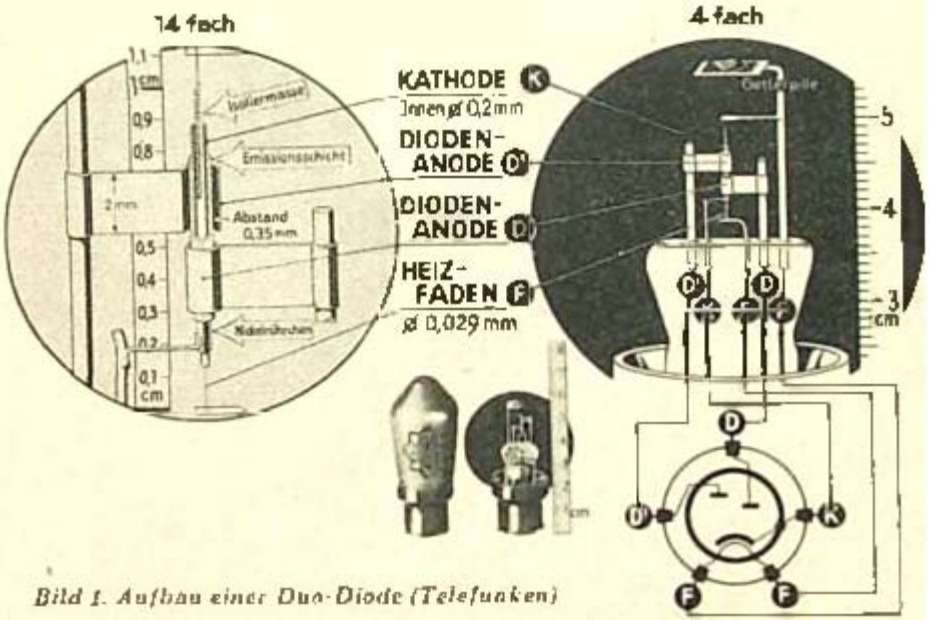


Bild 1. Aufbau einer Duo-Diode (Telefunken)

indirekt geheizt, um die Katode zur Einführung der für verzögerte Schwundregelung notwendigen Spannung von den übrigen (bei Batteriebetrieb mit den Heizfäden identischen) Katodenpotentialen der Schaltung trennen zu können. Zwischen den beiden Anoden wurde früher noch eine Abschirmung eingefügt, die sich jedoch nicht als notwendig erwiesen hat. Erkenntlich sind die älteren abgeschirmten Duodioden daran, daß die eine Anode an einer Kolbenkappe endigt. Bei diesem Typ beträgt die Kapazität zwischen den Anoden nur 0,002 pF.

Duodioden spielen heute eine immer kleinere Rolle, denn als Gleichrichterröhren werden sie durch moderne langlebige Trockengleichrichter verdrängt, während Empfangsdioden meist mit anderen Systemen zu Verbundröhren zusammengebaut werden und vielleicht schon in naher Zukunft ebenfalls durch Germanium- oder durch andere Kristalldioden ersetzt werden.

3. Trioden = Dreipolröhren

Bekanntlich liegt bei der Triode als dritte Elektrode zwischen Katode und Anode das Gitter. Das Gitter erst ermöglicht die Steuerung des Elektronenstromes und damit die Verstärkereigenschaft der Elektronenröhre. Eingeführt wurde diese (elektrostatische) Steuerelektrode bereits um 1898 von *Lenard* [2], der sie zur Untersuchung langsamer Katodenstrahlen benötigte.

Die erste Verstärkertriode mit einem Blechsieb als Gitter und Quecksilberdampffüllung war die *Lieben*-Röhre (1910), deren Vorgängerin [3] (1906) eine magnetische Steuerung durch eine konzentrische Außenspule aufwies.

Die wenig später gebaute A-Röhre hatte ein gestanztes Steggitter (Hühnerleiterform) und ein ebenfalls ebenes Blech als Anode. Die Abstände der Elektroden waren jedoch schon wesentlich geringer. Trotzdem hatte der Heizfaden noch einen ziemlichen „Respekt"abstand vom Gitter, weil er sich beim Betrieb ausdehnte und in Richtung auf das Gitter bog (**Bild 2**).

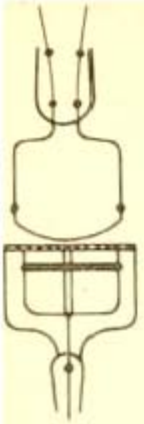


Bild 2. Schematischer Aufbau der A-Röhre (Verfasser)

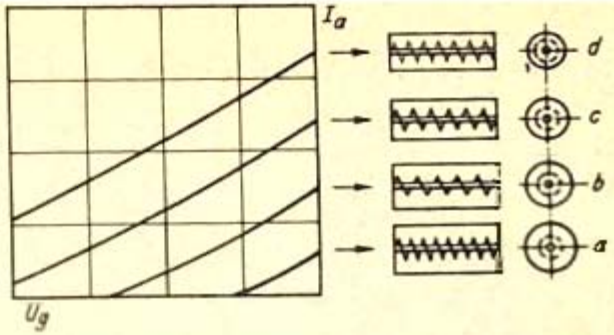


Bild 3. Abhängigkeit des Durchgriffs von den Elektroden-Abmessungen. Der Durchgriff wächst von a nach d. a = Ausgangsmodell, b = weniger Gitterwindungen, c = geringerer Anodenabstand, d = dünnerer Gitterdraht (Verfasser)

Die Varianten des darauf folgenden und heute bevorzugt angewendeten konzentrischen Elektrodenaufbaus sind:

Die Länge des Heizfadens bzw. des ganzen Systems, der Abstand der Gitterwindungen von der Katodenoberfläche, die Zahl der Gitterwindungen und dessen Drahtstärke und der Durchmesser der Anode.

Es leuchtet ein, daß der *Durchgriff* der Anodenspannung durch die Gitterwindungen in den Katodenraum um so größer sein muß, je geringer die Zahl der auf die Länge der Katode entfallenden Gitterwindungen, je kleiner der Abstand der Anode vom Gitter und je dünner der Gitterdraht ist (kleiner Bedeckungsfaktor). Daher wird der Durchgriff laufend vergrößert (Bild 3), wenn in einem vorgegebenen Elektrodensystem (a) die Zahl der Gitterwindungen verringert (a—b), der Abstand der Anode verkleinert (b—c) und schließlich die Drahtstärke des Gitters vermindert wird (c—d). Die Vergrößerung des Durchgriffs ist durch die stufenweise nach „links" erfolgende Verschiebung der den einzelnen Systemen a—d zugeordneten J_a-U_g-Kennlinien bei konstanter Anodenspannung U_a schematisch zum Ausdruck gebracht. Vergl. auch Bild 4.

Für ein zylindrisches Elektrodensystem gilt näherungsweise:

$$D = \frac{1}{2\pi \cdot r_g \cdot n} \cdot \frac{\ln \frac{1}{2\pi \cdot n \cdot r_d}}{\ln \frac{r_a}{r_g}} \qquad (1)$$

darin ist:

r_g = Gitterradius [cm]
n = Zahl der Gitterwindungen/cm
r_d = Radius der Gitterdrähte [cm]
r_a = Anodenradius [cm].

Die Beziehung gilt für $r_d \ll d$ (d = Abstand der Gitterdrähte voneinander) und $d \ll a$ (a = Abstand Anode-Gitter).

Die *Steilheit* einer Röhre mit zylindrischer Elektrodenanordnung wird um so größer, je enger das Gitter die Katode umschließt und je länger der wirksame Teil der Katode ist (Bild 4).

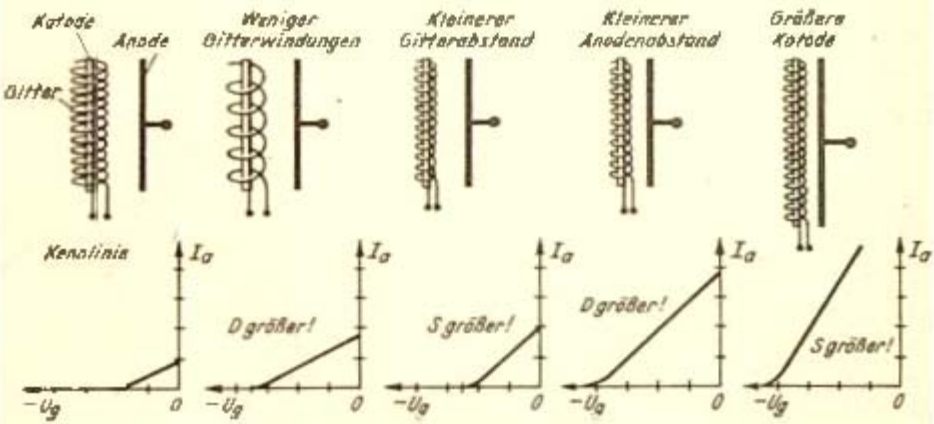


Bild 4. Abhängigkeit des Kennlinienverlaufes vom konstruktiven Aufbau (Rothe/Kleen)

Die Funktion des inneren Widerstandes in Abhängigkeit von den Abmessungen des Röhrensystems kann leicht aus den oben gegebenen Abhängigkeiten des Durchgriffs und der Steilheit auf Grund der Beziehung

$$Ri = \frac{1}{S \cdot D} \qquad (2)$$

ermittelt werden [4]. Er ist demnach um so größer, je kleiner

Durchgriff und Steilheit sind, d. h. z. B. je engmaschiger das Gitter (D klein) oder je kürzer die Katode (S klein) ist.

Meist handelt es sich um Verstärkerröhren, für die hohe Steilheit gefordert wird. Dazu wird das Gitter möglichst nahe an die Katode gebracht. Diese Maßnahme ist bei Batterieröhren dadurch begrenzt, daß auch bei gespannter Montage ein Durchbiegen des Heizfadens bei dessen Erwärmung nicht ganz zu vermeiden ist, und daher ein zu enges Gitter mit dem Faden Schluß macht. Das ist besonders bei langen Heizfäden gefährlich, die für große Steilheit bevorzugt werden. Daher war auch früher die Verbesserung der Steilheit durch konstruktive Maßnahmen nur beschränkt möglich und die Vergrößerung der Steilheit durch Emissionserhöhung der Katode war ein wesentlicher Fortschritt. Eine höhere Emission gibt einen größeren Sättigungsstrom und damit eine größere Steilheit des gradlinigen Kurventeils.

Das Raumladungsgebiet bei den Kennlinien einer Röhre mit kleiner Emission ist sehr klein, da wegen der geringeren Katodenergiebigkeit keine genügend dichte Raumladungswolke stehen bleibt. Wegen der Abhängigkeit der Steilheit von der Katoden-Emission erfolgte die weitere Entwicklung nun besonders hinsichtlich der Katodenverbesserung.

Ein interessanter und großzügiger Versuch, eine möglichst billige und schaltungsvereinfachende Röhre herzustellen, waren die sogenannten Arcotron-Flachstabröhren, die Telefunken 1930 auf den Markt brachte. Bei ihnen hatte das Gitter die Form eines außen auf den Glaskolben gespritzten Metallbelages, während in dem Glaskolben selbst nur der Heizfaden und die Anode untergebracht waren. Die flache Form der Röhre ergab sich aus dem Bestreben, einen möglichst geringen Abstand zwischen Gitter und Katode zu erhalten. Diese Röhren sprachen nur auf höhere Frequenzen an [5], da bei dem Prinzip der Außensteuerung langsame Frequenzen weniger Einfluß auf den Entladungsvorgang haben. Infolgedessen fiel bei ihnen praktisch auch der Gitter-Netzbrumm fort, was die Röhre für besonders billige Netzempfänger geeignet erscheinen ließ. Gleichzeitig ergaben sich gute Hochfrequenzeigenschaften und die Möglichkeit,

die Röhre auch in empfindlichen Anfangsstufen direkt mit Wechselstrom zu heizen [5], wozu sie einen Kurzfaden enthielt. Interessant ist, daß die Glaswandung aus einem besonders schlecht isolierenden Glas bestand, weil dieses in dem Ersatzschaltbild der Röhre als Parallelwiderstand zum Gitterkondensator fungierte, der durch den Außenbelag und die im Inneren der Röhre induzierte Flächenladung gebildet wurde und mit dem Widerstand zusammen eine übliche Audionzeitkonstante von etwa $^1/_{100}$ Sekunde ergeben sollte. Von der Außensteuerröhre wurden 2 Typen hergestellt, deren eine hochevakuiert war (für Hf-Stufen), während die andere eine Gasfüllung besaß (Audion). Da sich die besondere Glassorte in ihrer Zusammensetzung fabrikatorisch nicht wirtschaftlich genug beherrschen ließ, wurden die Flachröhren später zugunsten neuerer Typen wieder aufgegeben.

Da die Triode nicht alle Aufgaben lösen konnte, entstand die Mehrgitterröhre [6].

U. a. waren folgende Gründe dafür maßgebend:

1. Infolge der Gegenphasigkeit der Anodenwechselspannung zur Gitterwechselspannung bewirkt der Durchgriff eine innere Gegenkopplung, welche die Verstärkerwirkung herabsetzt. Auch nach den bekannten Formeln für die Verstärkung einer Röhre [7] erfordert eine hohe Verstärkungsziffer einen kleinen Durchgriff. Ist andererseits der Durchgriff des Anodenfeldes klein, so muß man die Anodenspannung sehr groß wählen, wenn in dem für leistungslose Steuerung einzig verwendbaren negativen Gitterspannungs-Gebiet noch ein hinreichend großer Elektronenstrom fließen soll. Je kleiner der Durchgriff, um so kleiner und enger ist also der nutzbare Aussteuerbereich. Deswegen soll der Durchgriff der Triode für Spannungsverstärkung möglichst nicht kleiner als 2...3% sein, d. h. die maximale Verstärkung ist etwa auf 50fach beschränkt, wobei die Anodenspannung groß und der Aussteuerbereich klein ist.

2. Bei der Triode als Hf-Verstärker liegt der innere Widerstand (einige 10 kΩ) parallel zum Schwingkreis, so daß der Kreis stark bedämpft wird. Gute Selektion ist also ausge-

schlossen oder erfordert Bandfilterkopplung (50% Spannungsverlust!).

3. Die schädliche Wirkung der Gitter-Anode-Kapazität kann Selbsterregung durch Spannungsteiler-Rückkopplung hervorrufen. Bei höheren Verstärkerziffern arbeitet die Triode daher instabil und macht eine Neutralisation der Gitter-Anode-Kapazität erforderlich.

Auch in normalen Spannungsverstärkern mit direkter Widerstandskopplung ist die Gitter-Anode-Kapazität bei höheren Frequenzen schädlich, da sie im dynamischen Betriebszustand eine ebenso große Wirkung hat wie eine $(1+V)$-mal so große Kapazität zwischen Gitter und Katode $\left(V=\frac{U_a}{U_g}\right)$. Hierfür sind die von der verstärkten Anodengleichspannung auf das Gitter influenzierten Ladungen verantwortlich. Größere dynamische Gitter-Anode-Kapazität bedingt starke Belastung des Gitterkreises, wodurch der Verstärkungsfaktor bei hohen Frequenzen rasch fällt.

Diese Nachteile werden durch Einbau eines positiven Schirmgitters vermieden oder verringert. Es entsteht die Vierpolröhre oder Tetrode.

4. Tetroden = Vierpolröhren[1])

Das Schirmgitter wirkt zunächst als elektrostatische Abschirmung zwischen Gitter und Anode, wodurch die Gitter-Anode-Kapazität erheblich verringert und die Selbsterregungsgefahr in Hf-Stufen praktisch beseitigt wird.

Die kapazitive Belastung des Gitterkreises ist wegen der ebenfalls kleineren dynamischen Gitterkapazität vernachlässigbar. Der innere Widerstand ist wesentlich größer (1 MΩ[2]). Das bedeutet geringere Dämpfung des Anodenkreises, größere Selektion und Verstärkungsreserve, die Schwungregelung ermöglicht.

[1]) Auch die Raumladegitter-Röhren weisen ein zweites Gitter, mithin vier Elektroden, auf. Das zweite Gitter dient hier zur teilweisen Aufhebung der Raumladung (Sauggitter) oder zur direkten Steuerung des Elektronenstromes, der die Katode verläßt (2-Steuergitterröhre) [16]. Sie erreichen schon bei kleinen Anodenspannungen gute Steilheiten und werden daher gern für batteriegespeiste Taschengeräte benutzt [RE 074 d, RV 2,4 P 45, RV 2,4 T 3, DAF 50 u. a.].

[2]) Siehe Fußnote auf der nächsten Seite.

Die Verschiebung des Arbeitspunktes in das negative Gitterspannungsgebiet hängt von dem Durchgriff des Schirmgitters durch das Steuergitter, und nicht vom Anodenfeld ab. Die Aufgaben des Durchgriffs sind hier getrennt, denn man kann mit extrem kleinem Durchgriff der Anode doch einen hinreichend großen Aussteuerbereich erreichen und in einem Gebiet großer Steilheit bei hohem Anodenstrom arbeiten.

Der Verstärkungsfaktor einer Schirmgitterröhre in Widerstandsverstärkerschaltung ist also wegen der fehlenden Anodenrückwirkung größer als bei der Triode. Die Tetrode ist daher auch als Widerstandsverstärker vorteilhaft verwendbar.

Bei Endtetroden spricht man besser vom Schutzgitter, weil es durch sein gleichbleibendes Potential die schädliche Rückwirkung der Anodenwechselspannung auf den Elektronenstrom unterbindet und hier andererseits eine Abschirmung unnötig ist.

Nun wird das Schirmgitter durch viele Primärelektronen getroffen (Schirmgitterstrom) und kann somit auch Sekundärelektronen aussenden, die durch den Feldverlauf zwischen Schirmgitter und Anode abgesaugt werden. Je größer die Anodenspannung, um so mehr Sekundärelektronen treten auf. Daher der bekannte ungewöhnliche Anodenstromverlauf bei Schirmgitterröhren.

Ebenso sendet die Anode Sekundärelektronen aus. Solange die Anodenspannung größer als die Schirmgitterspannung ist, werden diese Sekundärelektronen zur Anode zurückkehren, sobald aber die Anodenspannung kleiner als die Schirmgitterspannung ist, gelangen die Anodensekundärelektronen auf das Schirmgitter. Da die Anode als geschlossene oder, verglichen mit dem Schirmgitter, geschlossenere

---

[8]) Ri = Verhältnis von Anodenspannungsänderung zur daraus folgenden Anodenstromänderung. Die abschirmende Wirkung des Schirmgitters vermindert den Einfluß des Anodenfeldes auf den Katodenraum bzw. auf die Raumladung, so daß die Zahl der abgesaugten Elektronen, aus denen sich der Anodenstrom zusammensetzt, bei den betriebsmäßigen Schwankungen der Anodenspannung kaum geändert wird. Das Anodenfeld muß ja noch durch das Schirmgitter hindurchgreifen, so daß für die Anodengleichspannung das Produkt der Durchgriffe durch Steuergitter und Schirmgitter maßgebend ist.

Fläche mehr Sekundärelektronen aussendet als das Schirmgitter, erreichen auch mehr Sekundärelektronen das Schirmgitter. Die Sekundär-Emission ist aber schädlich für das Erreichen einer großen Verstärkung wegen des wesentlich kleineren inneren Widerstandes, den sie vortäuscht. Um zu erreichen, daß die Sekundärelektronen des Schirmgitters zu diesem und die der Anode zu jener zurückkehren, wird zwischen beiden ein Potentialminimum geschaffen: das *Bremsgitter*.

Dabei ergibt sich die Frage, wie unter diesen Potentialverhältnissen überhaupt noch Elektronen von der Katode zur Anode gelangen. Es gibt aber immer genügend Primärelektronen, die in der Umgebung des Schirmgitters eine solche Geschwindigkeit erreicht haben, daß sie das gegenläufige Feld zwischen Schirmgitter und Potentialminimum überwinden können. Die Sekundärelektronen haben dazu zu geringe Geschwindigkeit. Die Wirksamkeit des Potentialminimums läßt sich durch Änderung des Wicklungsschrittes und der Drahtdicke des Bremsgitters beherrschen. Praktisch muß es mindestens 10 bis 20 Volt niedriger liegen als das Schirmgitter bei maximaler Anodenspannung, damit mit Sicherheit alle Sekundärelektronen des Schirmgitters auf dieses zurückkehren. Man legt es daher meist auf Katodenpotential und gibt ihm in Ausnahmefällen bis zu 20 Volt positive Vorspannung. Für die von der Anode kommenden Sekundärelektronen ist das Bremsgitter dann um die Anodenspannung negativer und treibt sie zur Anode zurück.

Dieses Bremsgitter — auch Fanggitter genannt — macht aus der Vierpolröhre eine Fünfpolröhre oder Pentode.

5. Pentoden = Fünfpolröhren

Der Verlauf der Anodenstrom-Gitterspannungs-Kurven bei der Pentode stimmt etwa mit dem der Triode überein, dagegen spielt die Änderung der Anodenspannung nur eine sehr kleine Rolle, denn die Erzeugung der Verschiebespannung wird praktisch nur von dem Potential des Schirmgitters bestimmt.

$$Ri = \frac{\Delta U_a}{\Delta J_a} \qquad (3)$$

ist dementsprechend groß, so daß bei Pentoden im Vergleich zu Trioden die Ausgangsbedingung sehr verschieden ist. Die im Abschnitt Tetroden aufgeführten Vorteile für die Schaltungstechnik gelten aber auch hier.

In älteren Hochfrequenz-Pentoden wurde das Bremsgitter nicht gesondert herausgeführt, sondern innerhalb der Röhre mit der Katode verbunden. Sämtliche Wechselspannungen, welche nun zwischen Katode und Masse (Metallisierung) gelangen, stehen hierdurch auch zwischen Bremsgitter und Masse. Andererseits treten Wechselspannungen auch zwischen Katode und Steuergitter auf. Auf diese Weise ergibt sich eine unerwünschte Kopplung zwischen Steuergitter und Bremsgitter. Durch die Anodennähe des letzteren Gitters vergrößert sich dabei indirekt die Gitter-Anode-Kapazität. Bei modernen Hochfrequenzpentoden kann deshalb das Bremsgitter unmittelbar über einen besonderen Sockelkontakt an Masse angeschlossen werden.

Durch die Stromverteilung zwischen Schirmgitter und Anode entsteht bei Pentoden ein zusätzliches Röhren-Rauschen [8], das verringert werden kann, wenn man das Verhältnis des Schirmgitterstromes zum Anodenstrom herabdrückt, weil man sich dann dem Triodenfall (kein Schirmgitterstrom) nähert.

Zur Erreichung eines kleineren Schirmgitterstromes stehen verschiedene Wege offen. Man kann, als einfachstes Mittel, die Ganghöhe des Schirmgitters größer wählen und/oder die Drahtdicke des Schirmgitters verringern. Dieser Weg ist bei der Hochfrequenzpentode EF 13 beschritten worden [9]. Durch diese Maßnahmen verringert sich aber gleichzeitig die abschirmende Wirkung des Schirmgitters, d. h. die Steuergitter-Anode-Kapazität wird vergrößert und der Anodeninnenwiderstand wird verringert. Ein zweites Mittel ist wirksamer. Man kann vor dem Schirmgitter ein weiteres Gitter in die Röhre einbauen, dessen Drähte genau vor den Schirmgitterdrähten liegen. Dieses Gitter wird mit der Katode verbunden. Man erreicht durch dieses Nullgitter, daß die Elektronen-

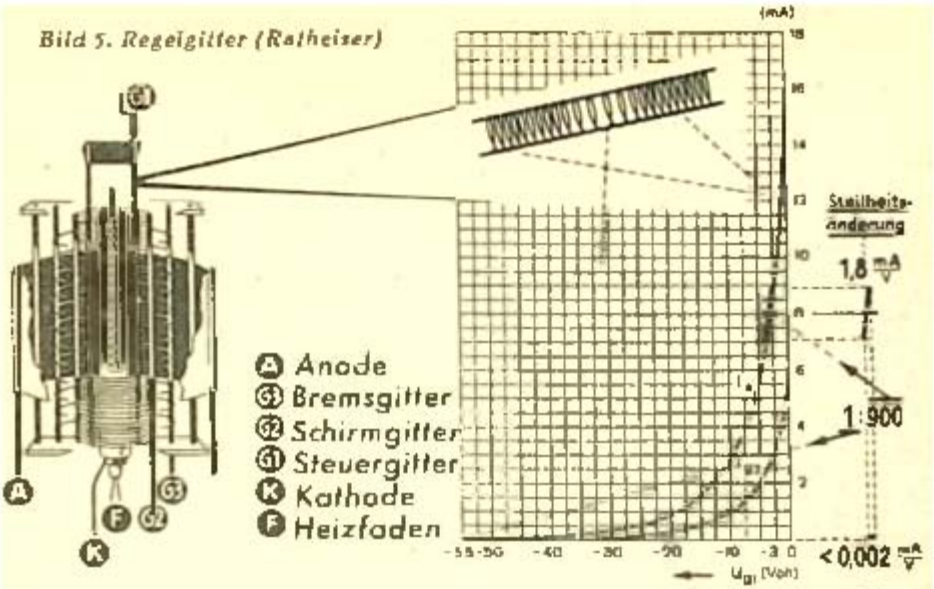


Bild 5. Regelgitter (Ratheiser)

bahnen von den Schirmgitterröhren weggebeugt werden, wodurch weniger Elektronen zum Schirmgitter gelangen. Nach diesem Prinzip wurde die EF 8 gebaut.

Damit die Schirmgitterspannung noch ein genügend hohes Ersatzpotential in der Steuergitterfläche erzeugt und der Katodenstrom genügend groß bleibt, müssen dann die Ganghöhen von Schirmgitter und Nullgitter größer sein als z. B. bei der Pentode EF 5, weil die Schirmgitterspannung auch noch durch das ebenfalls elektrostatisch abschirmende Nullgitter hindurch wirken muß. Der Schirmgitterstrom ist auf diese Weise von etwa 2 mA bei der Röhre EF 5 auf etwa 0,2 mA bei der Röhre EF 8 herabgesetzt worden.

Bei der automatischen Schwundregelung werden Röhren benötigt, deren Verstärkungs-Grad (Steilheit) mit veränderlicher Spannung in weiten Grenzen geregelt werden kann. Praktisch erreicht man ja diesen Steuereffekt bei jeder normalen Röhre in dem unteren Teil der Raumladungskennlinie. Wenn man aber in dem unteren gekrümmten Teil der Kennlinie arbeitet, treten entsprechende Verzerrungen auf. Um diese klein zu halten, muß die Kennlinie eine ganz bestimmte, z. B. exponentielle Form haben. Dies erreicht man durch ungleichmäßige Verteilung der Steuergitter-Windun-

gen derart, daß die Summe der Elementarkennlinien die gewünschte Form (Bild 5) hat. Einige Hf-Pentoden bzw. alle Regelpentoden werden daher mit solchen Regelgittern versehen.

Ein anderer Grund für die Einführung einer exponentiellen Kennlinie und damit eines Gitters mit variabler Steigung ist folgender: Durch Schwanken der Gittervorspannung (niederfrequent durch schlecht gesiebten Netzanschluß oder hochfrequent durch die Trägerfrequenz eines anderen starken Senders) wird die bereits modulierte Hochfrequenz nochmals moduliert, so daß man z. B. bei Abstimmung auf einen unmodulierten Träger die Modulation eines anderen Senders empfangen kann. Mathematisch wie experimentell stellte sich heraus, daß dieses „Übersprechen" dadurch eliminiert werden kann, daß die Kennlinie einen exponentiellen Verlauf erhält (Logarithmus des Anodenstroms proportional der Gitterspannung).

Neuere End-Pentoden (z. B. AL 5, Bild 6) haben neben der weiter unten erwähnten ovalen Katode statt eines Bremsgitters nur ein Strahlblech, das durch günstige Bündelung des Elektronenstromes die elektrischen Eigenschaften dieser Röhren erheblich verbessert.

Moderne Endröhren erhalten z. T. einen so großen Schutzgitter-Anoden-Abstand, daß man ohne Änderung der sonstigen Röhreneigenschaften auf das Bremsgitter ganz verzichten kann (VEL 11). Es ergibt sich eine Tetrode mit Pentoden-

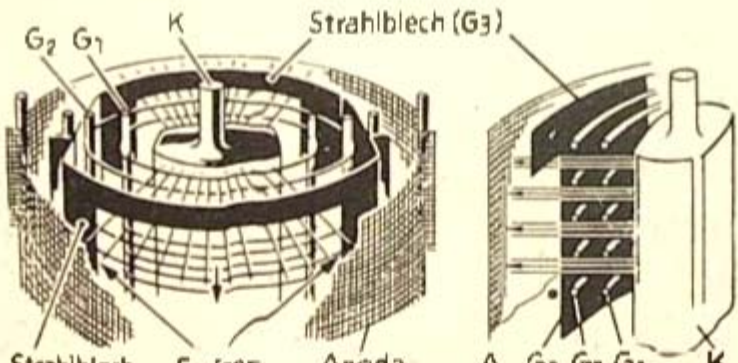


Bild 6. Strahlblech und Oval-Katode der AL 5 (Ratheiser)

charakter. Für die Fabrikation bedeutet das natürlich eine Verbilligung.

Durch Anlegen von negativer Vorspannung an das Bremsgitter einer Pentode läßt sich eine Verstärkungsregelung erzielen. Allerdings ist eine sehr große Regelspannung erforderlich und der Innenwiderstand wird stark erniedrigt. Unter Beibehaltung der Idee, über zwei Steuergitter zu regeln, ist man deswegen zur *Hexode* übergegangen, einer Röhre mit vier Gittern, deren zweites und viertes Gitter Schirmgitter und deren erstes und drittes Gitter regelbare Steuergitter sind (Fading-Hexode).

6. Hexoden = Sechspolröhren

Die Elektronen, die von dem positiven ersten Schirmgitter (= 2. Gitter) durch das negative erste Steuergitter gesaugt werden, werden nach Durchgang durch das zweite Gitter vor dem dritten Gitter abgebremst. Es bildet sich vor diesem dritten Gitter eine starke Raumladung, d. h. eine Zone von Elektronen mit der Geschwindigkeit Null (gerade umbiegende Elektronen), die meistens als *virtuelle Katode* bezeichnet wird. Aus dieser virtuellen Katode werden, genau wie aus einer richtigen Katode, Elektronen durch die positive Spannung des vierten Gitters und von der Anode abgesaugt, während das dritte Gitter diesen Elektronenstrom steuert. Es steuert also gewissermaßen Gitter 1 die Stärke der Raumladung von Gitter 3 und Gitter 3 den Anodenstrom. Man kann sich demnach die Hexode dargestellt denken als eine Serienschaltung von zwei Einzelröhren. Dabei ist die Kopplung der Röhren rein elektronisch und der für die Gesamtwirkung allein maßgebende Anodenstrom läßt sich zweifach leistungslos steuern.

Der Gesamtcharakter der Röhre ist der einer Schirmgitterröhre mit ihren bereits erwähnten Vorteilen.

Der Vorteil der Regelhexode gegenüber der Regelpentode besteht in dem geringeren Regelspannungsbedarf für vorgegebenen Regelungsgrad, ihr Nachteil in der komplizierten Röhrenkonstruktion.

Die Hexode wird vorteilhaft im Hochfrequenz-Verstärker eingesetzt, wobei das erste Steuergitter die zu verstärkende

HF-Spannung erhält, zur Fadingregelung jedoch beide Steuergitter herangezogen werden (Fadinghexode). Wichtiger noch ist die Hexode in Mischstufen, wo gemäß der geschilderten Wirkungsweise eine multiplikative Mischung erfolgt. (Man kann sich das so klarmachen, daß die Kennlinie des einen Steuergitters bei Änderung der Spannung am anderen nicht parallel verschoben, sondern um den Fußpunkt herumgeklappt wird, d. h. es wird nur der Strommaßstab verändert.) Die multiplikative Mischung bringt außerordentlich große Vorteile; sie bedingt, daß an der Anode direkt die Zwischenfrequenz entsteht, wenn man an die Steuergitter Empfangs- und Oszillatorfrequenz legt. Alle bei der additiven Mischung nötigen nichtlinearen Glieder mit ihren Nachteilen fallen weg. Dadurch wird der Aufbau der Mischstufe denkbar einfach. Hexoden, die vorwiegend in Mischstufen gebraucht werden, hat man unter dem Glaskolben gleich mit einer Triode kombiniert, die die Oszillatorfrequenz erzeugt und sie in direkter Verbindung dem zweiten Steuergitter des Hexodenteiles zuführt. Es ergibt sich die Mischhexode-Triode = Dreipol-Sechspolröhre (.... CH ....-Typ).

7. Heptoden = Siebenpolröhren

Baut man in eine Hexode noch ein Bremsgitter ein, so erhält man eine Heptode, die allerdings in der europäischen Praxis bisher keine große Rolle spielte. Denn die Amplituden an der Anode der Sechspolröhre sind (Anfangsstufen!) stets relativ klein, so daß die Anodenspannung nie kleiner als die Schirmgitterspannung werden kann, womit kaum Sekundärelektronen auftreten können und sich das Bremsgitter erübrigt.

8. Oktoden = Achtpolröhren

Die nächste Stufe der elektrisch bedingten Röhrenentwicklung ist die Oktode, die das bei der Triode-Hexode noch außenstehende Oszillatorsystem mit in den Elektronenweg des Hauptsystems einbezieht und die Modulation durch die Hochfrequenz am zweiten Steuergitter vorsieht. Auf die Katode folgt wie üblich das erste Steuergitter, dann sind

(ohne Gitterspirale) zwei Stege vorhanden (vgl. auch [29]), die positive Spannung erhalten und als Anode für die Erzeugung der Überlagerungsschwingung mit Hilfe des 1. Gitters dienen. Dahinter gleicht die Anordnung der Hexode, d. h. es folgen: 1. Schirmgitter, 2. Steuergitter, 2. Schirmgitter,

Bild 7. Gitter 3 mit Laufzeit
Gitter (3) ohne Laufzeit
(Verfasser)

Bremsgitter und Anode. Der Kennlinienverlauf wird durch die Oszillatoranordnung nicht wesentlich beeinflußt, so daß die gleichen multiplikativen Steuerverhältnisse wie bei der Hexode herrschen. Die Oszillatorspannung am 1. Gitter erzeugt mit der am 2. Steuergitter eingeführten Empfangsfrequenz an der Anode die Zwischenfrequenz.

Bei Oktoden können Verzerrungen infolge der Abhängigkeit des Anodenwiderstandes von der Ausgangsspannung völlig vernachlässigt werden. Dagegen galt dies bei der Hexode nur für nicht zu große Ausgangswechselspannungen, weil sie im Gegensatz zur Heptode kein Bremsgitter besaß.

Die hohe Elektrodenzahl bedingt nun lange Elektronenwege und damit unerwünschte Laufzeiteffekte.

Schon bei modernen Hexoden (EH 2) ist der *Laufzeitstrom* [10] gegen die älteren Typen bedeutend herabgesetzt. Dies wurde durch Verkleinern des Abstandes zwischen Gitter 2 und Gitter 3 erreicht, wodurch sich die virtuelle Katode viel weniger stark ausbilden kann und die Elektronenlaufzeit zwischen diesen Gittern herabgedrückt wird (Bild 7). Die Laufzeitströme sind hierdurch auf den 10. Teil gesunken.

Auch bei Oktoden tritt ein Laufzeitstrom im KW-Gebiet (3 bis 4 µA bei 10 m) auf, besonders stark bei Oktoden mit Gazeanoden. Offenbar handelt es sich um Streuelektronen, welche durch die Gazelöcher austreten und dann nach langen Bahnen wieder in die Nähe des Steuergitters gelangen. Die Verwendung von Vollanoden hat diesen Laufzeitstrom praktisch beseitigt. (Lange Laufwege ergeben größere Beschleunigungen und die Elektronen können, wenn sie nach langen Wegen wieder in die Höhe des Gitters kommen, dessen negatives Potentional überwinden und einen Laufzeitstrom bilden.)

Die bei kurzen Wellen ebenfalls störende Elektronenkopplung innerhalb der Oktode wurde bei der EK 2 durch einen kleinen Kompensationskondensator ausgeglichen [11].

Durch geschickte elektronenoptische Gestaltung gelang es bei der EK 3, dem Nachfolgetyp der EK 2, ein sehr geringes Mischrauschen und eine wesentliche Minderung der Frequenzverwerfung bei hohen Frequenzen zu erzielen [12].

Die praktisch nur in der Mischstufe verwendete Oktode konnte sich nicht halten, weil die mit Trioden kombinierten Mischhexoden bessere Entkopplung zwischen Eingangs- und Oszillatorteil zulassen und weniger Frequenzverwerfung zeigen [1].

9. Nonode = Neunpolröhre

Bei der einzigen bisher gebauten Nonode handelt es sich um eine Philips-Spezialröhre (φ-Detektor, EQ 80), die eigens für UKW-FM-Empfänger entwickelt wurde [13]. Sie enthält zwischen Katode und Anode 7 Gitter, von denen das 2., 4. und 6. Schirmgitter sind; das 7. Gitter wirkt als Bremsgitter, während das 1. Gitter verschiedene Aufgaben, z. B. die der Störbegrenzung erfüllen kann. Das 3. und 5. Gitter sind Steuergitter, die nur dann einen, hier konstanten, Anodenstrom zulassen, wenn sie beide positiv sind. Daher ist der Anodenstromeinsatz unmittelbar abhängig von dem Phasenunterschied φ der am 3. und 5. Gitter liegenden Wechselspannungen. Phasenunterschiede ergeben sich aber z. B. bei Frequenzabweichungen von einer Mittelfrequenz, so daß die

Nonode gut als Demodulator für Frequenzmodulation verwendbar ist. Hinzu kommt, daß die Konstanz des Anodenstromes einer Begrenzerwirkung entspricht und die Ausgangsspanung zur unmittelbaren Aussteuerung einer Endröhre gut ausreicht. Damit spart die Nonode in FM-Empfängern 1...2 Normalröhren und ein Bandfilter ein.

10. Verbundröhren

Verbundröhren haben den Vorteil, daß sie durch Unterbringung mehrerer, auch elektrisch zusammenarbeitender Röhrensysteme in einem Glaskolben einen erheblichen Raumgewinn im Gerät bringen und dessen Schaltung vereinfachen, allgemein also eine Verbilligung erzielen. Dazu kommt die Ersparnis an Sockelmetall, Katodenwerkstoffen und an den Arbeitsgängen, in denen sonst getrennte Röhren zusammengestellt werden mußten.

Zu den ältesten Verbundröhren gehören die sogenannten Binoden (REN 924 und RENS 1254), Kombinationen je einer Diode mit einer Triode bzw. mit einer Tetrode.

Auch die bereits besprochenen Duodioden stellen streng genommen Verbundröhren dar. Einen Zusammenbau von drei Zweipolröhren finden wir in der EAB 1, die in der bekannten Drei-Diodenschaltung Anwendung findet. Röhren, wie EBF 11, EBL 1 usw. vereinigen eine Duodiode mit einem Pentodensystem, während Duodioden mit Trioden z. B. in den Röhren der ...BC...-Typen kombiniert sind.

In neuerer Zeit (Rimlock-Serie) baut man wieder jeweils nur eine Diode mit einem Verstärkersystem zusammen (EAF 42). Da ohnehin zwei gleiche Verstärkersysteme für Schaltungen, die zwei Dioden vorsehen, gebraucht werden, erreicht man so auf einfache Weise eine einwandfreie Entkopplung der demodulierenden Diode von der Diode für Regelspannungserzeugung.

Die sehr häufige Kombination einer Mischhexode mit einer der Erzeugung der Oszillatorfrequenz dienenden Triode wurde schon erwähnt. Sie ist auch bei den modernsten Röhrenserien zu finden (ECH 42). Um derartige Verbundröhren z. B. auch für Zf-Verstärkung und Nf-Vorverstärkung

einsetzen zu können, werden das 3. Hexodengitter und das Triodengitter oft getrennt ausgeführt (ECH 4).

Bei der durch den DKE 38 bekannt gewordenen VCL 11 ist ein zur Gittergleichrichtung oder Nf-Vorverstärkung bestimmter 3-Polteil mit einer End-Tetrode über einer gemeinsamen Katode aufgebaut und in einem Kolben untergebracht (Bild 8). Hier war nicht nur eine in den Selbstkosten sehr

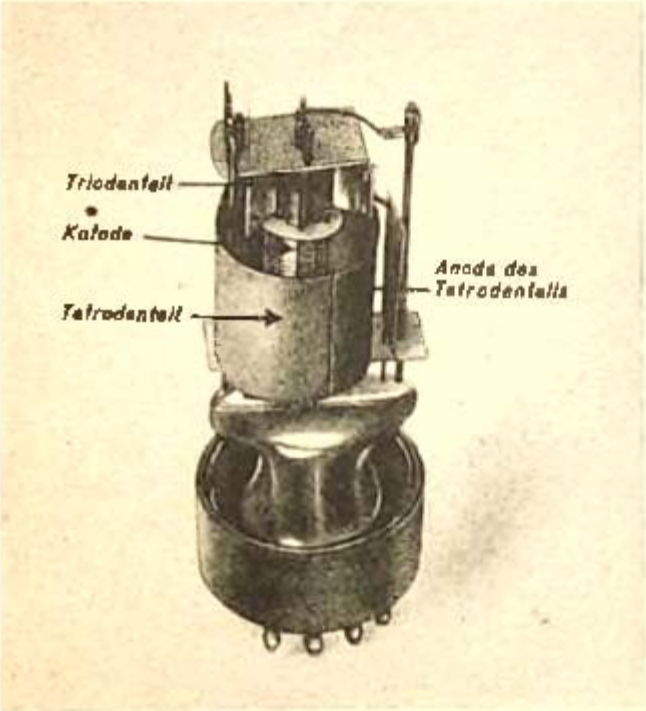


Bild 8.
Aufbau der VCL 11
(Ratheiser)

billige Röhre zu entwickeln, sondern auch die elektrischen Daten waren so zu bemessen, daß der Schaltungsaufwand ein Mindestmaß beträgt. Transformatorkopplung zwischen Audion und Endstufe kam aus Preisgründen nicht in Frage. Daher war die schwierige Aufgabe zu lösen, Audion und Endstufe so auszubilden, daß die vom Audion abgegebene Niederfrequenzspannung ausreichte, um die Endstufe voll auszusteuern. Zu diesem Zweck erhielt das Triodensystem einen kleinen Durchgriff, um größtmögliche Verstärkung zu erreichen. Ferner mußte das Tetrodensystem eine relativ

hohe Steilheit erhalten, um mit der immerhin noch kleinen Gitterwechselspannung auf volle Leistung zu kommen. Ähnlich aufgebaute Röhren für Wechselstrom- und Allstromgeräte sind: ECL 11, UCL 11 und ECL 113. Neuere verbesserte Röhren für den gleichen Zweck enthalten 2 Tetroden (VEL 11, UEL 11, UEL 71).

Zum Aufbau einer Verbundröhre genügen oft geringe Zusätze zum normalen Elektrodenaufbau einer Einzelröhre, z. B. dann, wenn ein Verstärkersystem mit einer Diodenstrecke zusammengebaut werden soll. Nach einem Telefunkenvorschlag [14] werden die neu benötigten Hilfselektroden in Form von Sonden ausgebildet und innerhalb der sogenannten Randgebiete angeordnet. Solche Randgebiete sind innerhalb der gebräuchlichen Röhrensysteme, z. B. an den Rändern der Elektroden und (von der Katode aus gesehen) hinter den stabförmigen Gitterstützen vorhanden. Die Anordnung der Sonden soll hierbei so erfolgen, daß das Potentialbild der Rohre möglichst wenig gestört wird. Der zur Gleichrichtung zwischen der Katode und Sonde erforderliche Elektronenstrom ist so gering, daß der gesteuerte Anodenstrom dadurch nicht wesentlich geschwächt wird. Die Sonde ist z. B. einfach als Blechstreifen ausgebildet, der parallel zur Katode zwischen Schirmgitter und Bremsgitter des Pentodensystems in der Ebene der Haltestreben aller Elektroden (bei Quetschfußröhren) liegt. Da in dieser Ebene die Steuerwirkung der einzelnen Elektroden schon an sich gestört ist, bringt die hier angeordnete Sonde keine zusätzliche Störwirkung.

Wo mehr als einfache Zusätze zum Einzelröhrensystem erforderlich sind, wird die Fertigung kompliziert und teuer, der Ausschuß untragbar hoch. Das ist der Grund, weshalb man das Prinzip der Mehrfachröhren, die besonders zu Beginn der Rundfunkentwicklung beliebt waren, in den letzten Jahren aufgegeben hat. Damals wurden die Röhren sämtlich einzeln von Hand gefertigt, so daß man 2...3 Verstärkerstufen samt den zugehörigen Widerständen und Kondensatoren in einen Kolben bauen konnte und trotzdem — gemessen an damaligen Röhrenpreisen — wirtschaftlich die relativ geringen elektrischen Forderungen erfüllen konnte.

Einen besonders interessanten Aufbau hat die speziell für Batteriegeräte gedachte Diode-Heptode DAH 50 [15]. Sie vereinigt die vorteilhaften Eigenschaften einer Pentode mit denen einer Raumladegitterröhre und enthält außerdem eine Diodenstrecke mit einem besonderen Heizfaden, so daß man bei Nichtbenutzung des Diodenteils auch dessen Heizfaden nicht anzuschließen braucht. Das Hauptsystem der Röhre ist ein Siebenpolsystem, denn neben dem mit zusätzlichem Raumladegitter versehenen Pentodenteil ist noch eine aus zwei Stäben bestehende Hilfs-Elektrode vorhanden, die im Inneren der Röhre mit dem Heizfaden verbunden ist und zur Elektronenbündelung dient. Die Einführung des Raumladegitters bringt eine Steilheit von ca. 0,7 mA/Volt schon bei einer Anodenspannung von 15 Volt. Die beiden

Heizfäden benötigen je 1,4 Volt bei 25 mA, so daß die Röhre bei Parallelschaltung der Fäden 1,4 Volt und 50 mA, bei Serienschaltung 2,8 Volt und 25 mA benötigt.

III. Verschiedene Konstruktions- und Herstellungsfragen

1. Allgemeines

Bekanntlich unterscheidet sich die Röhre von anderen Massenartikeln dadurch, daß ihre physikalische Wirkungsweise ein Vakuum und thermische Elektronenemission voraussetzt und infolgedessen der Fabrikation viele kleinere und größere Fertigungsprobleme zu lösen gibt. Im Interesse der Austauschbarkeit müssen zusätzlich verhältnismäßig sehr hohe Anforderungen an die Herstellungsgenauigkeit aller Teile gestellt werden.

Bei der Fabrikation der Rundfunkröhren konnten viele Erfahrungen der Glühlampentechnik übernommen werden. So wurde in der Anfangszeit Wolfram als bewährtes Glühfadenmaterial übernommen und die Erfahrung ausgewertet, daß ein hohes Vakuum die Lebensdauer des Glühfadens erhöht, ferner, daß auf möglichst vollkommene Entfernung von Wasserdämpfen zu achten ist, da diese der Katodenzerstäubung Vorschub leisten. Dagegen konnte die Schutzgastechnik[1]) wegen der vollkommen andersartigen Aufgabenstellung nicht übernommen werden. Im Laufe der Zeit kamen dann eigene und neue Erfahrungen der Röhrentechnik dazu, die u. a. zur Verbesserung der Herstellungsgenauigkeit und zur Verringerung des unabwendbaren Ausschusses führten.

Hinsichtlich der auftretenden Probleme ist es natürlich ein Unterschied, ob eine Diode oder eine Oktode hergestellt werden soll, denn mit der Vermehrung der Elektroden steigt die Anzahl der Teile linear, die Zahl der Arbeitsgänge fast quadratisch und der Fabrikationsausschuß exponentiell an. Der Gang der Herstellung verläuft bei der Mehrzahl aller Röhrentypen in groben Zügen etwa folgendermaßen:

[1]) Füllung des Kolbens mit einem Schutzgas, z. B. Stickstoff, um die Verdampfung des Wolframdrahtes zu vermindern.

1. Herstellung der einzelnen Bestandteile, z. B.: die Glaskolben werden in der Glashütte geblasen, wo auch andere Glasspezialteile hergestellt werden, Metallkolben und -teller für Stahlröhren in einer Stanzerei ausgeschnitten und auf die gewünschte Form gezogen und gepreßt. Die Heizfäden — selbst ein Produkt von über 70 Arbeitsgängen — werden auf die gewünschte Länge und Form gebracht und mit einer aktiven oder isolierenden Schicht überzogen. Die Katodenröhrchen werden auf Spezialmaschinen gezogen, mit dem Brenner versehen und mit der aktiven Schicht überzogen. Die Gitter werden auf ihre Stege gewickelt und mit ihnen verschweißt oder verrollt. Ebenso werden alle übrigen Teile, wie Stützdrähte und Isolierbrücken, von verschiedenen Automaten angefertigt und der Montageabteilung zugeführt.

2. Prüfung der Systemeinzelteile auf Maßhaltigkeit bzw. auf Innehaltung der vorgeschriebenen Toleranzen.

3. Zusammensetzen der Röhrensysteme.

4. Mechanische oder optische Prüfung der montierten Röhrensysteme.

5. Verschmelzung bzw. Verschweißung des Kolbens mit dem Systemfuß (Quetschfuß, Preßteller usw.).

6. Auspumpen der Röhren. Beim Pumpen werden auch die Glas- und Metallteile entgast, die Katoden geheizt und formiert, sowie das Getter verdampft.

7. Prüfung der ausgepumpten Röhren.

8. Sockelung.

9. Einbrennen der Röhren unter Betriebsbedingungen oder nach besonderer Vorschrift.

10. Elektrische Vorprüfung.

11. Aufspritzen der Außenmetallisierung oder Lackierung.

12. Elektrische Hauptprüfung.

13. Firmen- und Typenaufdruck.

14. Verpackung.

Auf bemerkenswerte Einzelheiten der Röhrenfabrikation wird in den folgenden Abschnitten von Fall zu Fall eingegangen.

Wie bei allen Massenartikeln ist auch hier fabrikationsseitig zu prüfen, welches Herstellungsverfahren das wirt-

schaftlichste ist. Man muß daran denken, daß die einzelnen Arbeitsgänge wegen ihrer Vielzahl (mehrere hundert) so billig wie möglich gehalten werden müssen, zumal ein Teil des Röhrenpreises zur Deckung der unerläßlichen Entwicklungskosten dienen muß. So ist heute auch die Frage, ob eine Röhrenserie in Metall- oder Glasausführung gebaut werden soll, nur noch eine rein wirtschaftliche. Eine besondere Eigenart des oben skizzierten Herstellungsganges ist die Vielzahl der Zwischenprüfungen, die durch die erforderliche Präzision begründet ist. Da es wirtschaftlich undurchführbar ist, die Genauigkeit der Herstellungsmaschinen und die der Montagearbeitsgänge über ein gewisses Maß zu steigern und eine genaue Nachprüfung aller errechneten Systemabmessungen mit den üblichen feinwerkmäßigen Hilfsmitteln zu verlangen, grenzt man die unvermeidbaren Streuungen weitgehend durch elektrische Prüfungen ein. Denn es interessiert ja schließlich nicht, ob z. B. der Abstand zwischen zwei Elektroden einer Röhre absolut 1,050 oder 1,045 mm beträgt, sondern nur, ob die Röhre im Betrieb die vom Verbraucher geforderten bzw. diesem als verbindlich genannten elektrischen Daten innerhalb der festgelegten elektrischen Toleranzen aufweist. Infolgedessen werden alle Röhren, die nicht in irgendeinem Zwischenstadium der Fabrikation durch optisch erkennbar grobe Fehler, wie Glasschaden, mechanische Beschädigungen der Elektroden, Schweißfehler usw. als unbrauchbar ausgeschieden werden, erst einmal fertig hergestellt und dann im Vorprüfautomaten oder von angelernten Kräften auf besonderen Prüfständen elektrisch geprüft. Dabei werden eine Reihe elektrischer Prüfungen nacheinander vorgenommen und fehlerhafte Röhren nach Art des Fehlers sortiert ausgeschieden. Diese Art der Prüfung ist bei der Schwierigkeit einer einwandfreien Röhrenherstellung ohne Zweifel die billigste und sie ermöglicht außerdem eine schnelle Feststellung der Ausschuß-Ursachen. Die als fehlerhaft erkannten und ausgeschiedenen Röhren können gegebenenfalls immer noch in billigen Arbeitsgängen zerlegt und ihre wertvollen Einzelteile von neuem den Ausgangsstellen der Fabrikation zugeführt werden.

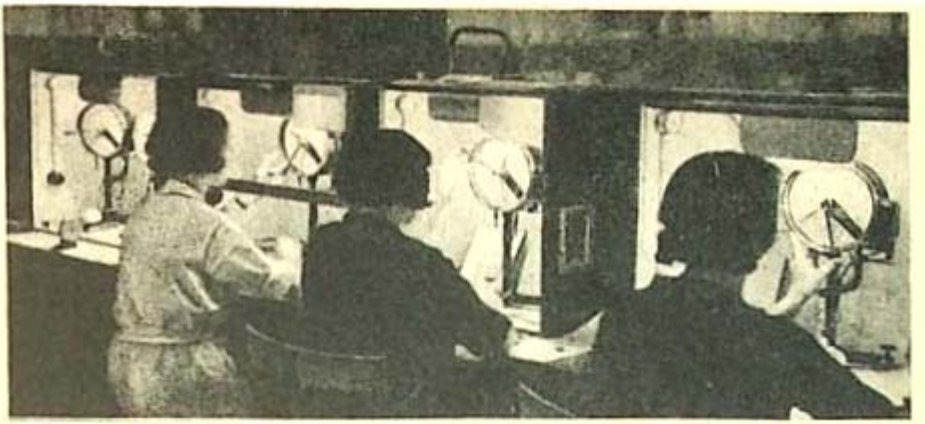


Bild 9. Prüfung von Hexodenheizfäden auf ihr Gewicht (Telefunken)

Natürlich werden möglichst viel Einzelteile gleich nach ihrer Fertigung geprüft, so die Gitter auf Maßhaltigkeit, die Heizfäden auf ihr Gewicht (**Bild 9**), (d. h. also auf ihre Länge und damit auf ihren elektrischen Widerstand). Katoden auf die Gleichmäßigkeit ihrer Schicht (**Bild 10**) und die vormon-

Bild 10. Kontrolle der mit Isolierpaste besprühten Brenner auf Gleichmäßigkeit der Isolierschicht (Telefunken)

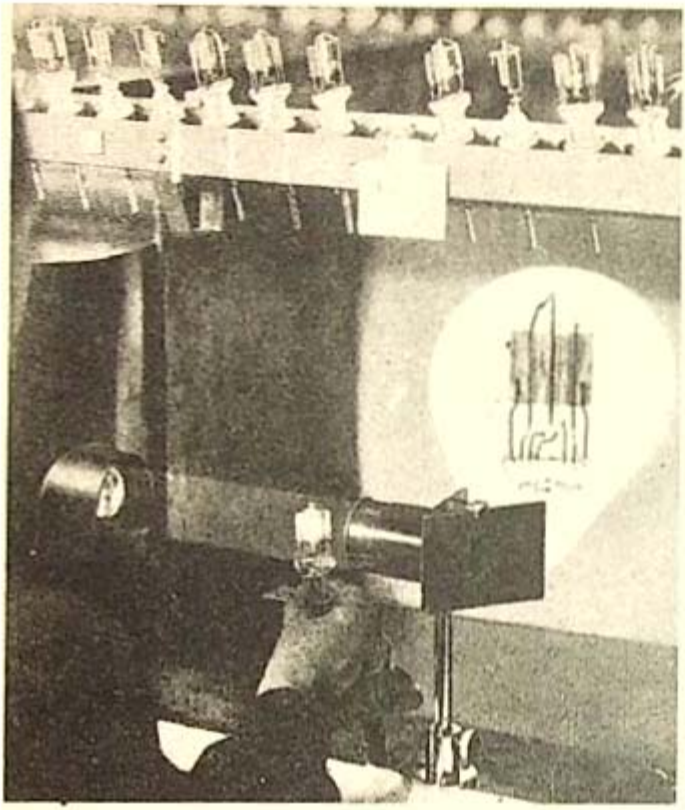


Bild 11. Optische Kontrolle des Systemaufbaus (Telefunken)

tierten Elektrodensysteme durch Projektion ihres Schattenrisses in vergrößertem Maßstab (**Bild 11 und 12**). Der Zusammenbau der Systeme erfolgt entweder am laufenden

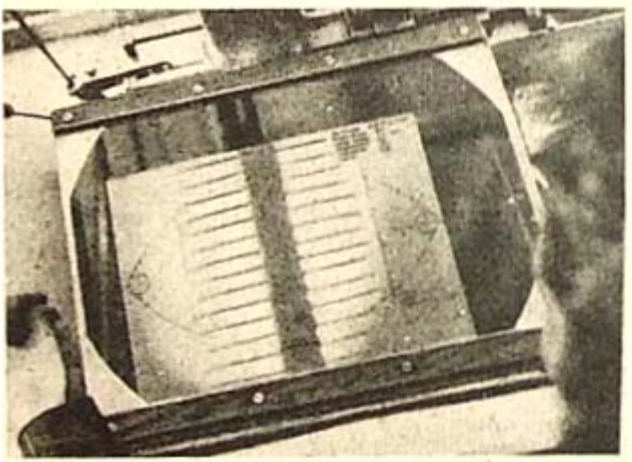


Bild 12. Optische Kontrolle der Gitter durch Projektion mit 28facher Vergrößerung (Telefunken)

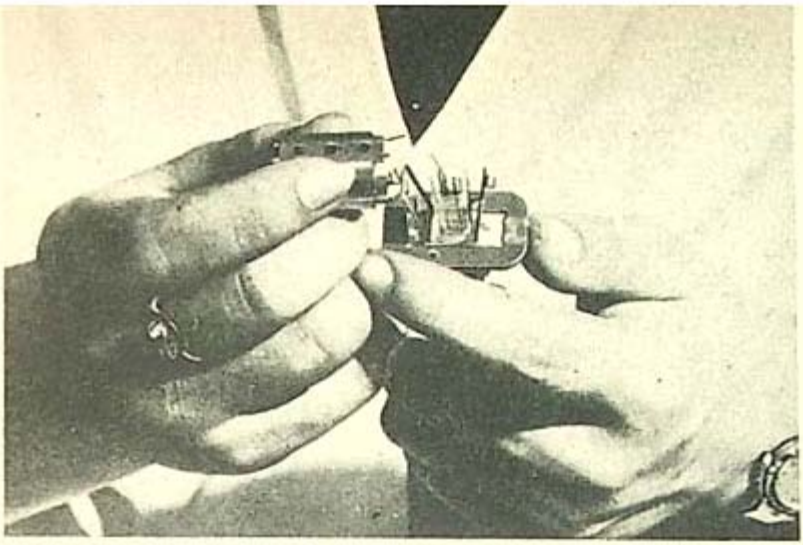


Bild 13. Einsetzen der Anode bei der Stahlröhrenmontage (Telefunken)

Band, das in bestimmten Zeitabständen jeweils 10 Röhren, d. h. um eine Platzbreite, bewegt wird, oder in Einzelfertigung, immer jedoch von Hand (**Bild 13**).

In neuerer Zeit wird die Einzelmontage wieder bevorzugt. Wo es sich irgend ermöglichen läßt, werden Meß- und Montagelehren verwendet. Ihre Verwendung ist aber auf diejenigen Fälle begrenzt, wo der Meßvorgang nicht zur Verformung des Meßobjektes führen kann. Man kann ein Gitter mit 60 µ oder kleinerem Drahtdurchmesser nicht mit einer Rachenlehre auf seine Maßhaltigkeit kontrollieren, ohne es zu zerstören.

Besondere Schwierigkeiten bei der Fabrikation verursacht auch die unerläßliche Rücksichtnahme auf die Eigenschaften der bis zu 30 verschiedenen Werkstoffe, aus denen sich eine Röhre zusammensetzt. Neben den Glasproblemen, die weiter unten besprochen werden, sollen hier die Anforderungen an die Metalle nicht unerwähnt bleiben, die z. T. einen Reinheitsgrad von 99,9 % voraussetzen. Alle im Vakuum gebrauchten Metalle dürfen bei Betriebs- und Entgasungstemperatur keine merkliche Verdampfung aufweisen, weshalb z. B. Messing wegen seines Zinkgehaltes ausscheidet. Sie sollen ferner eine hohe Wärmefestigkeit haben und keine

Strukturumwandlungspunkte innerhalb der vorkommenden Temperaturbereiche besitzen. Besonders gefährlich ist die bei höheren Temperaturen eintretende Rekristallisation, die Risse (Undichtigkeit) und Herabsetzung der Festigkeit verursacht. Sie kann durch Einkristallmetalle (schwierige Herstellung) oder geeignete Legierungen, die kleine, gut verzahnte Kristalle ergeben, verhütet werden.

Ferner müssen die verwendeten Metalle leicht entgasbar sein und sollen bei Betriebstemperatur möglichst keine Gasatome abgeben. Man erreicht das bei hohen Reinheitsgraden und durch sorgfältige Vermeidung von Oxydeinschlüssen. Auch lohnt sich oft die Herstellung besonderer Vakuum-Sintermetalle. Im Laufe der Zeit wurden so eine ganze Reihe Speziallegierungen entwickelt [17], deren Besprechung hier zu weit führen würde. Sie haben Platin und besonders Tantal, die in der Anfangszeit viel verwendet wurden, verdrängt, so daß heute an Grundmetallen nur noch Wolfram, Molybdän, Nickel, Eisen und Kupfer in nennenswertem Umfang benutzt werden.

Vor ihrer Verwendung werden die Metallteile durch Waschen oder Kochen in Trichloräthylen entfettet, oder sie werden zur oberflächlichen Reinigung blank gebeizt. Wo eine rauhe Oberfläche erwünscht ist (Katodenröhrchen, Anodenbleche) werden sie matt gebeizt. Oft werden sie auch vorgeglüht und bis zur endgültigen Verwendung unter Vakuum aufbewahrt.

2. Quetschfußröhren und Glastechnologie

Die von der Glühlampenfabrikation übernommene Quetschfußtechnik hat große herstellungstechnische Vorzüge, wie erstaunlich niedrige Ausschußzahlen. Der Quetschfuß entsteht aus einem Glasrohr, dessen eines Ende nach entsprechender Heizung zusammengedrückt wird, wobei sämtliche Haltestäbe und Stromzuführungen der zu der Röhre gehörenden Elektroden in der Quetschung eingebaut bzw. eingeschmolzen werden [18].

Mit der Eroberung immer höherer Frequenzgebiete für die Schaltungstechnik konnte die Quetschfußtechnik aus

elektrischen Gründen nicht beibehalten werden. Daher werden heute nur noch solche Röhren mit Quetschfuß hergestellt, bei denen höchstfrequenztechnische Gesichtspunkte eine untergeordnete Rolle spielen. Aber auch bei diesen werden neuerdings quetschfußlose Röhren wegen ihres geringeren Raumbedarfes und aus fabrikatorischen Gegebenheiten heraus bevorzugt.

Im Zeitalter der Quetschfußröhren wurde eine ganze Anzahl technologischer Probleme einer befriedigenden Lösung zugeführt. Dadurch wurden wertvolle Grundlagen für die Stahl- und Preßglasröhrentechnik geschaffen. Wohl die größten Schwierigkeiten waren bei der vakuumdichten Einschmelzung der Elektrodenzuführungen, also bei den Metall-Glas-Verschmelzungen zu überwinden. Hier ist es besonders die Forderung, daß Glas und Metall etwa gleiche Wärmeausdehnungskoeffizienten[1]) haben müssen, wobei sich das Metall nach der benutzten Glassorte richten muß. Wenn sich nämlich der Draht bei der Abkühlung stärker zusammenzieht als das Glas, entstehen Undichtigkeiten durch Luftkammern, im umgekehrten Falle treten Sprünge im Glas auf.

Das Glas soll nicht nur einen höheren Isolationswert haben, sondern muß auch in der gewünschten Weise verarbeitet werden können. Jedes Glas weist nämlich eine sogenannte Transformationstemperatur auf, bei der sich seine thermische Ausdehnung und elektrische Leitfähigkeit sprunghaft ändern (meist 400...500° C). Während es bis zu dieser Temperatur spröde ist, nimmt darüber die Zähigkeit ab, so daß sich innere Spannungen ausgleichen (Anwendung beim Tempern). Da es gleichzeitig bei höheren Temperaturen leitend wird, entsteht die Gefahr der Elektrolyse. Deswegen wird die

[1]) Die physikalisch-chemischen Grundlagen der Glasmetallverschmelztechnik behandelt Espe [19], wobei er u. a. auf die Beherrschung der Kühl- und Ausdehnungsspannungen eingeht. Das wichtigste Ergebnis seiner Arbeit ist, daß eine genaue Übereinstimmung der Ausdehnungskoeffizienten nicht so notwendig ist, als ein vakuumdichtes, festes Haften des Glases an der Metalloberfläche. Die durch verschiedene Ausdehnungskoeffizienten hervorgerufenen Spannungen lassen sich durch Form der Verschmelzung und zeitliche Führung des Kühlprozesses beeinflussen. Die Frage der zulässigen Spannungen richtet sich nach verschiedenen Umständen, wobei Espe für einzelne Verbindungen Zahlenwerte angibt.

höchstzulässige Betriebstemperatur auf einen Wert beschränkt (bei guten alkaliarmen Gläsern: > 300° C), bei dem der spezifische Widerstand des Glases noch 100 MΩ/cm beträgt. Da die Temperaturwechselbeständigkeit eines Glases um so höher wird, je kleiner sein Wärmeausdehnungskoeffizient α ist, werden für Systemfüße Hartgläser mit α = 40...55 mμ/cm °C bevorzugt, während Weichgläser etwa die doppelte Ausdehnung zeigen. Dementsprechend wählt man als Metall für die Einschmelzungen z. B. eine Eisen-Nickel-Legierung mit Kupfermantel und Boraxüberzug, statt des früher viel benutzten Platins oder Platinmanteldrahtes. An dieses Metallstück wird bei den Quetschfußröhren nach dem Röhreninneren zu ein besonderer Systemträgerdraht (Nickel oder Molybdän) angeschweißt oder -gelötet, während auf der anderen Seite ein Kupfer- oder Silizium-Bronze-Draht den Anschluß an die Sockelkontakte vermittelt.

Auch sonst ist die Wahl des Glases eine Wissenschaft für sich [20, 21]. Allgemein werden ja gute Verarbeitbarkeit, Wärmebeständigkeit und ausreichende Festigkeit gefordert. Daneben ergeben sich aber für Quetschfuß (bzw. Preßteller) und Kolben weitere Forderungen, die zur Wahl besonderer Flansch- und Kolbengläser geführt haben. Während beim Flanschglas gute Isolations- und dielektrische Eigenschaften unerläßlich sind, müssen Kolbengläser in erster Linie gute Strahlendurchlässigkeit und hohe chemische Widerstandsfähigkeit besitzen. Die Glashütten haben hier wertvolle Arbeit geleistet. Es wurden sogenannte Bleigläser (Bleisilikate) für Flanschteile, Kalkgläser (Kalk-Magnesia-Silikate) für Kolben geeignet befunden. Ein gutes Flanschglas enthält z. B. 56,5 % Quarz, 31,5 % Bleiglätte, 8 % Kaliumoxyd und 4 % Natriumoxyd, während ein Kolbenglas mit z. B. 70,5 % Quarz, 16,6 % Natriumoxyd, 5,5 % Kalk, 3,9 % Magnesia, 2,5 % Baryt und 1 % Kaliumoxyd überhaupt keine Bleiglätte enthält und daher härter ist.

Besonders wichtig ist, daß sich Flansch- und Kolbenglas spannungsfrei miteinander verschmelzen lassen, d. h. daß sie etwa gleiche Ausdehnungskoeffizienten haben. Ferner darf das Glas nicht zu lange gelagert sein, da es von verschiedenen

Bestandteilen der Luft chemisch angegriffen wird und sich derart gealtert nicht mehr für Schmelzprozesse eignet. Die Erwärmung auf Schmelztemperatur und die nachfolgende Abkühlung müssen langsam erfolgen, weil sonst Spannungen und Sprünge auftreten. Während Sprünge gleich erkenntlich sind, müssen Glasspannungen durch Prüfung mit polarisiertem Licht ermittelt werden. Sie sind deswegen gefährlich, weil die Zugfestigkeit eines Glases meist nur etwa $^1/_{10}$ seiner Druckfestigkeit beträgt. Die Schmelznaht zwischen Kolben und Flansch ist auch bei der fertigen Röhre bei ungenügender Wärmeabfuhr noch gefährdet. Bei Fadentemperaturen von 1200...1300° C und einer Anodentemperatur von 300...450° C weist selbst das „kälteste" dazwischenliegende Gitter noch eine Temperatur von 200...300° C auf. Ist deswegen eine hohe Schmelztemperatur günstig, so steht dem die Forderung nach einer möglichst kleinen Verarbeitungstemperatur entgegen, die zur Vermeidung von Elektrodenvergiftungen durch Gasausbrüche und Metallumwandlungen erwünscht ist (hier liegt ein Vorteil der Stahlröhrenkonstruktion, deren Schweißnaht bei Raumtemperatur für das übrige System hergestellt werden kann).

3. Metallröhren

Die Metallröhre ist ursprünglich eine deutsche Erfindung. Bereits 1917 wurde sie von *Huth* vorgeschlagen [22], wobei präzise und sehr modern anmutende Angaben über Einzelheiten des Aufbaues gemacht wurden. Leider erlosch das Patent nach 8jähriger Laufzeit wegen Nichtbezahlung der Gebühren, weswegen wir uns später die amerikanischen Stahlröhren als neueste Errungenschaft vorsetzen lassen mußten. Diese ersten amerikanischen Röhren stellten keineswegs einen technischen Fortschritt dar, vielmehr waren sie zunächst das Produkt eines typisch amerikanischen Konkurrenzkampfes. Als die Philco-Gesellschaft, die bislang nur Empfänger fabriziert und die Röhren von der RCA bezogen hatte, eine Röhrentype brauchte, die die RCA nicht herstellen wollte, nahm die Philco selbst eine Röhrenfabrikation auf, die der RCA das Röhrengeschäft gründlich verdarb. Da die

RCA nun bestrebt war, neue Röhren mit eindeutigem Patentschutz zu bauen, die die Philco nicht benutzen durfte, wurde mit einer für europäische Verhältnisse einfach unvorstellbaren Propaganda im Frühjahr 1935 die Metallröhre auf den Markt gebracht. Die propagandistisch gerühmten Vorteile dieser Röhren erwiesen sich technisch als unhaltbar, betrug doch allein der Fabrikationsausschuß schon 40%, wovon 20% auf die mangelnde Beherrschung der Vakuumabdichtung entfiel. Ferner konnte man keine Kombinationsröhren bauen, so daß sich stellenweise eine unnötig hohe Röhrenzahl der mit diesen Röhren bestückten Geräte ergab.

Die Unzerbrechlichkeit des Kolbens war ebenfalls nur ein Propagandavorteil, da jeder Fachmann weiß, daß nur verhältnismäßig wenig Röhren im Betrieb durch Glasschaden ausfallen. Dazu kam, daß man im Gegensatz zu den modernen deutschen Stahlröhren längere Systemträger benötigte und sie als Drähte ausbildete, die auf einer Grundplatte angeschweißt wurden. Dadurch ergab sich eine geringere mechanische Festigkeit als bei den Glasröhren. Der weiterhin propagierte Vorteil der kleineren Abmessungen erwies sich wegen der größeren Wärmeabgabe ebenfalls als hinfällig, denn größere Wärmeabgabe bedingt eine räumliche Aufweitung des Empfängeraufbaus wegen der wärmeempfindlichen anderen Einzelteile. Im übrigen konnte man aber Glasröhren genau so klein bauen. Auch beherrschte man anfangs die Entgasung der Röhre nicht ausreichend, weil man die bequeme und sichere Hochfrequenzwirbelstromentgasung nicht mehr anwenden konnte und weil bei dem engen Innenraum die Gefahr bestand, daß das Getter sich im Elektrodensystem mitniederschlug und dort zu Störungen Anlaß gab.

Auch die ferner in USA herausgebrachten Metallersatzröhren, nämlich die Glasmetallröhre, die Metallhülsenglasröhre und die metallgespritzte Glasröhre, waren Kinder des Konkurrenzkampfes zwischen RCA und Philco. Jedoch waren sie schließlich Glasröhren und als solche zuverlässiger als die Metallröhren. Die weitere amerikanische Entwicklung, besonders der kommerziellen und der Miniaturröhren, wandte sich dann wieder den Glasausführungen zu.

Die deutsche Röhrenindustrie hatte dagegen mit der Auflage von Metallröhrenserien so lange (bis 1937) gewartet, bis diese einwandfrei einen technischen Vorteil brachten, der die mit großen Kosten verbundene Umstellung in der Fabrikation rechtfertigte. Nun allerdings zeigten die deutschen Stahlröhren außerordentliche Vorteile. Insbesondere gelang es der deutschen Industrie, die Verschweißung des Röhrenbodens mit der Kappe so einwandfrei zu beherrschen, daß die von der amerikanischen Industrie her bekannten [23] Schwierigkeiten nicht auftraten.

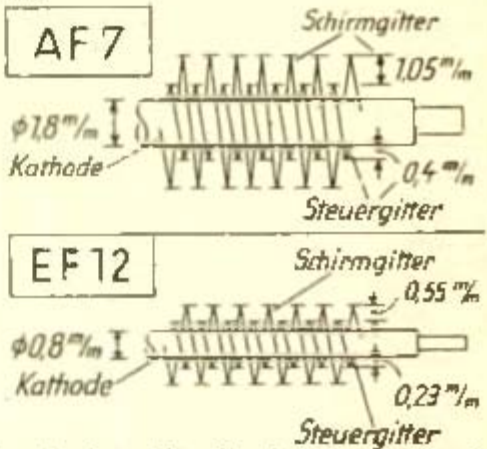


Bild 14.
Vergleich der Abmessungen bei einer Quetschfußröhre und einer Stahlröhre für den gleichen Verwendungszweck (Telefunken)

Während ferner die amerikanischen Metallröhren am vertikalen Röhrensystem festhielten, benutzten die deutschen Stahlröhren ein horizontales System, das folgende Vorteile aufweist: Es ist gegenüber den deutschen Glasröhren und allen amerikanischen Rundfunkröhren im ganzen kleiner und benötigt eine wesentlich kleinere Heizleistung. Wegen der kleineren Heizleistung kann das Elektrodensystem enger aufgebaut werden, wie Bild 14 durch einen Vergleich zweier Röhren gleichen Verwendungszweckes zeigt. So können z. B. die Gitter näher an die Katode herangerückt werden, ohne daß man deswegen mit thermischer Emission und ähnlichen Erscheinungen zu rechnen hat. Elektrisch wirkt sich diese Tatsache dahin aus, daß sich die dynamischen Kapazitäten der Röhren, insbesondere der Regelröhren, in Abhängigkeit von der Regelspannung nur unwesentlich ändern. Jedenfalls konnte die Änderung der Kapazität gegen-

über den alten Röhren auf etwa die Hälfte herabgedrückt werden [24]. Das waagerechte System kann ferner an beiden Seiten fest gelagert werden, wozu man nicht die mehr oder weniger elastischen Stützdrähte, sondern vielmehr vollkommen starre Profilträger mit allen ihren Vorteilen benutzt. Die waagerechte Anordnung ermöglicht außerdem die saubere Trennung und kapazitätsarme Herausführung der Elektrodenzuführungen, wodurch Gitter und Anode einer Röhre zwar nach einer Seite (d. h. nach unten) sehr zugunsten der Verdrahtung, jedoch auch räumlich weit auseinander und unter den beiden entgegengesetzten Enden des Elektrodensystems herausgeführt werden können.

Dadurch wurde das deutsche Stahlröhrensystem so stabil, daß es kaum noch Klingneigung aufweist und überdies in jeder räumlichen Lage ohne Nachteile benutzt werden kann. Ein weiterer Vorteil des waagerechten Aufbaues und der damit verbundenen kleineren Bauhöhe des Systems sind die kurzen (zirka nur $^1/_3$...$^1/_5$ der bei Quetschfußröhren üblichen Längen) Zuführungsdrähte. Neben der Werkstoffeinsparung bedingen die kürzeren Zuführungen kleinere Kapazitäten und wesentlich geringere Selbstinduktionen, wodurch eine Verwendung der Stahlröhre bis zu UKW-Frequenzen (EF 15) ermöglicht wird. Dazu kommt, daß die Frequenz, von der ab Laufzeiteffekte eine Rolle spielen, wegen des gedrängteren Systemaufbaues wesentlich höher liegt. Die Ausbildung des Gefäßes als Stahlkolben gewährleistet ferner eine praktisch absolute Abschirmung gegen elektrische und magnetische Streufelder, was besonders für hochverstärkende Anfangsstufen erwünscht ist. Bei Endröhren hingegen, wo die Abschirmung eine weniger große Rolle spielt als die einwandfreie Wärmeabstrahlung, benutzt man auch innerhalb der Stahlröhrenserie nach wie vor Glaskolben. Auch die Abstimmanzeigeröhren werden aus verständlichen Gründen mit Glaskolben geliefert.

Durch die Art der Konstruktion ist der Aufbau von Verbundröhren sehr erleichtert.

Bei den deutschen Stahlröhren sind also nicht gewöhnliche Röhrensysteme in Stahlkolben eingebaut, wie in USA, son-

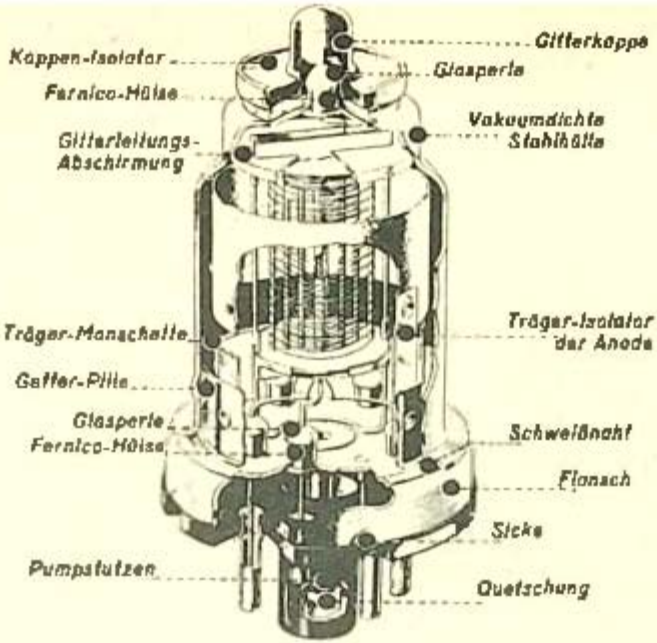


Bild 15. Amerikanische Stahlröhre im Schnitt (Verfasser)

dern es handelt sich um vollkommen neue Konstruktionen, die auch herstellungstechnische Verbesserungen mit sich bringen. Das gilt besonders hinsichtlich der früher recht verwickelten Elektrodenhalterungen. **Bild 15** zeigt den Aufbau einer amerikanischen Röhre im Schnitt. Zum Vergleich bringt **Abb. 16** einen Schnitt durch die ECH 11, einer typischen deutschen Stahlröhre. Bemerkenswert ist der Schutzraum zur

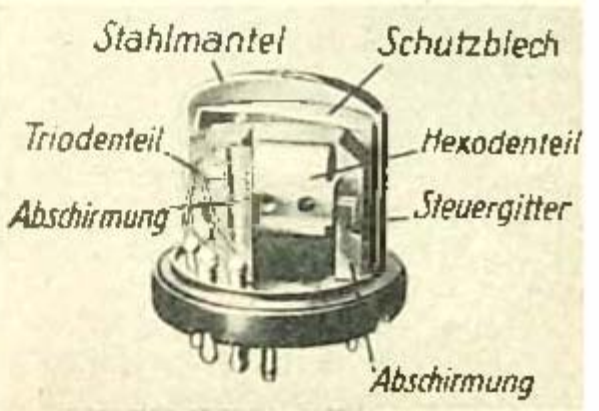


Bild 16. Deutsche Stahlröhre im Schnitt (Telefunken ECH 11)

Getterverdampfung oberhalb des Röhrensystems. Auch in elektrischer Beziehung stellten die deutschen Stahlröhren einen wesentlichen Fortschrit dar. Sie wurden als sogenannte Harmonische Serie (EBF 11, ECH 11, ECL 11, EF 11, EF 13, EL 11 usw. und die entsprechenden Typen der U-Reihe) hauptsächlich hinsichtlich der Regeleigenschaften, des Aussteuerbereiches und der Steilheit aufeinander abgestimmt, so daß man Röhrensätze [25] erhielt, die viel schaltungsmäßige Entwicklungsarbeit ersparten und somit die Empfängerherstellung verbilligten. Ein wesentlicher Fortschritt war hier die Einführung der gleitenden Schirmgitterspannung.

Von den Vorteilen der deutschen Stahlröhren übernahmen die Amerikaner in der Folgezeit lediglich die einendige Ausführung, also den Verzicht auf alle Kolbenanschlüsse. Auch Miniwatt-Schlüsselröhren wurden in Metallausführung gebaut [26]. Bei gleichem Systemaufbau haben sie nur wenig höhere Kapazitäten. Die technologischen Forderungen sind hier wegen des fehlenden Sockels besonders hoch, da die Elektroden-Durchführungen, die in Glasperlen bei 950° in den Metallboden eingeschmolzen werden, die volle mechanische Beanspruchung beim Röhrenwechsel auszuhalten haben. Bei Verwendung von Hartglasperlen wählt man Eisen mit $\alpha = 125 \cdot 10^{-7}$, während für höhere Ansprüche Weichglasperlen benutzt werden, wobei Boden und Stifte aus Chromeisen bestehen.

3. Keramische und Preßglasröhren

Keramikröhren

Während man seit langer Zeit Röhrenfassungen aus keramischen Werkstoffen kennt, sind bis in letzter Zeit die Röhren selbst mit Sockeln aus Isoliermaterialien versehen, die um Größenordnungen höhere dielektrische Verluste haben. Lediglich eine Oszillografenröhre erschien 1938 auf dem Markt, die einen keramischen Sockel und quetschfußlosen Aufbau hatte.

1939 wurden auf der Funkausstellung die ersten vollkeramischen Empfängerröhren gezeigt. Bei einer Ausführungsform, die sich äußerlich wie innerlich dem inneren Aufbau

der Stahlröhren anpaßt, sind die Zuleitungen in die keramische Sockelplatte vakuumdicht eingeschmolzen. Die Sockelplatte ist nach Fertigstellung des Innenaufbaues vakuumdicht mit der ebenfalls keramischen Haube verschmolzen. Gleichzeitig war hier eine neuartige Formgebung, nämlich die Viereck-Röhre, zu sehen, ein Querschnitt, der sich besonders für Röhren mit rechteckigem Systemaufbau eignet und eine besonders günstige Raumausnutzung verspricht. Für die Kontaktgabe der Fassung werden eine Anzahl am Außenrand der Sockelplatte aufgebrannter Metallbelege verwendet.

Ob sich die keramische Ausführung in Zukunft auch für Rundfunkzwecke einführen wird, läßt sich noch nicht übersehen. Praktische Anwendung fand sie bisher nur bei den Metall-Keramik-Röhren, die während des letzten Krieges für kommerzielle Dezimetergeräte gebaut wurden. Hier bestand die Aufgabe, zur Vermeidung der durch Sockelfassung und zwischen Leitungen auftretenden schädlichen Kapazitäten, Induktivitäten und Verluste, die Röhre zum unmittelbaren Bestandteil der Schwingkreise werden zu lassen. So entstanden die sogenannten Scheiben- oder Leuchtturmröhren (LD 6...14, LG 11, LS 1000), auf deren interessante Konstruktion wir hier aber nicht eingehen können, da gleichzeitig eine ganze Reihe der im Dezimetergebiet auftretenden Probleme besprochen werden müßte.

Preßglasröhren

Während der Stahlröhrenepoche machte die Entwicklung der Glas-Technologie weitere Fortschritte. So kam es, daß die quetschfußlosen Preßglasröhren die Stahlröhren ablösten, als man erkannte, daß zum Bau räumlich kleiner Geräte die Verringerung des Röhrendurchmessers wichtiger ist als ein möglichst kleines Volumen bei größerem Durchmesser, zumal die in der Zwischenzeit erheblich verringerten Heizleistungen eine engere Anordnung der Empfängereinzelteile um die Röhren herum zuließen.

Der Name Preßglasröhren rührt von dem Preßteller her, der als Röhrenboden die Elektrodenzuführungen hält. Im Gegensatz zu den Quetschfuß- und Stahlröhren dienen hier

die 1...1,5 mm starken Elektrodenzuführungen gleichzeitig als Sockelstifte- und Systemträger. Die Hauptschwierigkeit dieser Konstruktion liegt darin, die Durchführungsstifte vakuumdicht innerhalb der engen Abstandstoleranz des Sockelschemas unterzubringen. Besonders beim Aufschmelzen der Kolben besteht die Gefahr der Abstandsänderung, weshalb man dem Preßteller eine Napf-Form gibt und so die Schmelznaht von den Durchführungen wegverlegt. Da sie dadurch in die Nähe der Katode kommt, die durch zu hohe Schmelztemperaturen vergiftet werden kann, wendet man bei Rimlockröhren ein sogenanntes Lötglas (gesinterter Glaspulverring) an, das eine gute Verschmelzung bei nur 230° C gestattet. Grundsätzlich gibt es für die Herstellung der Preßteller vier Möglichkeiten:

a) mit Glas bewickelte Stifte werden in vorgepreßte Scheiben eingepaßt,

b) mit Glas bewickelte Stifte werden zusammen mit Glasringen auf der Preßform so weit erhitzt, daß ein gutes gemeinsames Verpressen möglich ist (Lorenz),

c) voroxydierte Stifte werden zusammen mit flüssigem Glas zusammengepreßt,

d) die Stifte werden nach vorherigem Einbetten in pulverisiertes Glas eingeschmolzen. Die dabei auftretenden Luftblasen von 10...50 µ Durchmesser verringern das spezifische Gewicht und die Wärmeleitfähigkeit und setzen die auftretenden Spannungen beim Abkühlen herab (gesinterte Glassockel, Philips).

Auch hier dürfen die Ausdehnungskoeffizienten von Glas und Metall nicht mehr als ± 10 % voneinander abweichen. Auch muß das Metall für vakuumdichte Verbindung ein in Glas gut lösliches Oberflächenoxyd bilden. Daher werden als Werkstoffe für die Stifte Molybdän ($\alpha = 51 \cdot 10^{-7}$), Wolfram, Kovar und besonders Chromeisen ($\alpha = 103 \cdot 10^{-7}$) gewählt. Zur Verstärkung der Stifteinbettung werden gern Glasperlen vorgesehen, die innerhalb (RV 12 P 2000) oder außerhalb (U 21-Serie) des Kolbens liegen können und im letzteren Falle auch eine Vergrößerung der Kriechwege bewirken. Der Hochfrequenzwiderstand der Chromeisenstifte,

der bei 330 MHz z. B. schon 6 Ω beträgt, kann durch Versilberung auf 0,5 Ω herabgesetzt werden.

Im übrigen finden wir hier die gleichen Probleme der Glaswahl, wie sie schon bei den Quetschfußröhren besprochen wurden.

Die zuerst von Philips herausgebrachten Preßglasröhren haben im Gegensatz zu den Stahlröhren wieder einen vertikalen Systemaufbau, dessen Elektrodenzuführungen unmittelbar in die Sockelstifte auslaufen oder auf diese aufgesetzt werden. Gegenüber den älteren Glasröhren ergeben sich folgende Vorteile:

1. kürzere Elektrodenzuführungen,

2. Herabsetzung der Kapazitätsstreuungen und geringere Wärmeabhängigkeit der Röhrenkapazitäten,

3. Verlegung des Getters in die Röhrenkappe,

4. stabiler Aufbau und geringere Heizleistung (1,26 Watt für Anfangsstufen),

5. bessere Wärmeabfuhr im Systemfuß, da die empfindlichen Einschmelzungen der Zuführungsdrähte direkt im Fuß liegen (Wärmeleitung, gegenüber Wärmestrahlung beim Quetschfuß),

6. gute Abschirmung bei besserer Wärmeabstrahlung des Kolbens durch Faraday'schen Käfig um das Röhrensystem unter Verzicht auf Innenbelag und Außenmetallisierung des Glaskolbens,

7. kleinere Elektrodenkapazitäten wegen der kreisförmigen Auseinandersetzung der Zuführungen gegenüber der Nebeneinanderschichtung im Quetschfuß,

8. geringere Anheizperiode, während der kapazitive Änderungen auftreten können (9,5 gegenüber 11,5 Minuten),

9. geringere Frequenzverwerfung als bei Stahlröhren.

Zahlreiche Typen kommerzieller deutscher Röhren sind in Preßglasausführung gebaut worden und haben sich gut bewährt, so daß sie nach dem Zusammenbruch auch in Industriegeräten viel benutzt wurden. Heute sind folgende ältere und neuere Preßglasröhren im Handel:

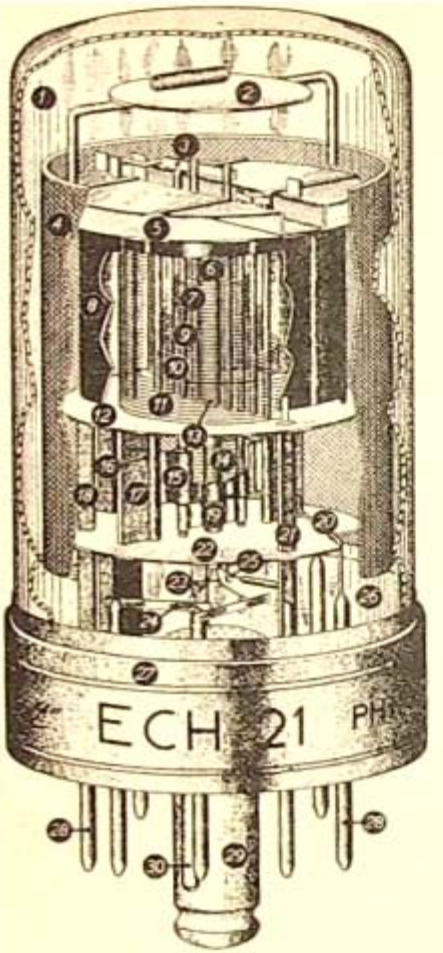


Bild 17. Minimatt-Schlüsselröhre im Schnitt (Philips ECH 21)

1. Röhrenkolben.
2. Metallteller, auf dem das Gettermaterial befestigt wird.
3. Verbindung des ersten Gitters des Heptodenteiles.
4. Abschirmkäfig.
5. Oberer Stützteller aus Isolationsmaterial.
6. Erstes Gitter des Heptodenteiles.
7. Zweites Gitter (Schirmgitter) des Heptodenteiles.
8. Anode des Heptodenteiles.
9. Drittes Gitter des Heptodenteiles.
10. Viertes Gitter (Schirmgitter) des Heptodenteiles.
11. Fünftes Gitter (Bremsgitter) des Heptodenteiles.
12. Mittlerer Stützteller aus Isolationsmaterial.
13. Katode.
14. Steuergitter des Triodenteiles.
15. Anode des Triodenteiles.
16. U-förmige Abschirmung des Gitterzuführungsdrahtes des Heptodenteiles.
17. Befestigungsstreifen der Triodenanode.
18. Einer der drei U-Träger des Elektrodensystems.
19. Dichtwicklung des Steuergitters des Triodenteiles.
20. Verbindung der Triodenanode zu einem Durchführungsstift.
21. U-Träger des Elektrodensystems.
22. Unterer Stützteller aus Isolationsmaterial.
23. Heizfadenenden.
24. Verbindungsstreifen des einen Heizfadenendes zum Durchführungsstift.
25. Verbindung der Katode zum entsprechenden Durchführungsstift.
26. Preßglasboden.
27. Falzring zur Befestigung der Abschirmung des Röhrenfußes.
28. Durchführungsstifte.
29. Führungsstift.
30. Sockelleiste des Führungsstiftes.

1. Minimatt-Schlüsselröhren

Die in dem Preßteller auf einem Kreis von 17,5 mm Durchmesser angeordneten Elektrodenstifte werden durch eine Metallwanne abgeschirmt, deren zentraler zylindrischer Fortsatz den Pumpstutzen mechanisch schützt und eine Führungsnase (Schlüssel) mit Rastrille für die Haltefeder der Fassung

trägt. Der Kolbendurchmesser beträgt maximal 32 mm (Bild 17).

2. Rimlock-Röhren (D-, E- und U- 40-...42- und andere Serien)

Die Rimlockröhren erhielten ihren Namen von einer gleichzeitig der äußeren Elektrodenabschirmung dienenden Metallmanschette (rim = Reifen), die eine mechanische Verriegelung (lock = verschließen) in der entsprechend ausgebildeten Fassung gestattet. Sie entstammen ebenfalls einer Philips-Entwicklung und besitzen neben den oben erwähnten Vorteilen aller Preßglasröhren noch folgende Eigenschaften:

a) kleinere Abmessungen (22 mm Durchmesser, 50...70 mm Höhe),

b) acht kräftige Kontaktstifte auf einem Kreis von 11,5 mm Durchmesser angeordnet,

c) Führungsnase am Sockelmantel.

Die Kontaktfedern der zugehörigen Fassungen sind so ausgebildet, daß sie die Röhren auch festhalten und beim Einsetzen deren Kontaktstifte reinigen (Schabefedern). Die Fassung selbst wird aus Preßstoff oder gestanzten Hartpapierplatten hergestellt und ist in drei Ausführungsformen für Über- (mit hohem Kragen) und Unter-Chassis-Montage erhältlich.

Wegen des kleineren Durchmessers läßt sich hier eine zentrale Abschirmung der Sockelstifte nicht ohne Nachteile durchführen. Diese Abschirmung wurde daher in die Fassung verlegt. Aus dem gleichen Grunde wanderte der Pumpstutzen in das obere Kolbenende, das auch bei dieser Serie nicht zur Elektrodenausführung benötigt wird. Wo besondere Abschirmungen notwendig sind, z B. bei Hf- und Zf-Pentoden, ist eine Abschirmplatte in der Mitte des Preßtellers vorgesehen.

3. Pico-Röhren (Bild 18)

Diese von Telefunken hergestellten Röhren (z. B. ECL 113, Bild 19) stellen eine Ergänzung der Rimlock-Röhrenreihe dar und dienen gleichzeitig der Vervollständigung der Stahlröhrenserie. Die Glaskolben dieser Röhren haben keinen größeren Durchmesser (21 mm) als die bekannte RV 12 P 2000.

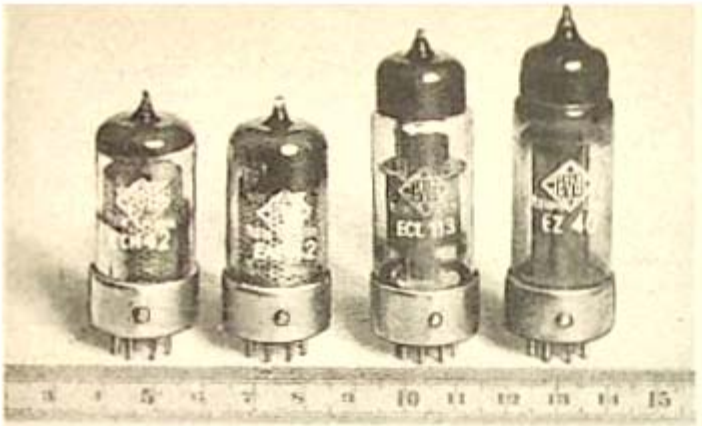


Bild 18.
Pico-Röhren-Serie
(Telefunken)

Die bei den kommerziellen Preßglasröhren gesammelten Erfahrungen konnten hier verwertet werden und führten zu einem günstigen Kompromiß zwischen den Forderungen der Gerätetechnik und den wirtschaftlichen Belangen der Röhrenfabrikation. Das Sockelungsschema wurde dabei dem der Rimlock-Röhre angepaßt, um nicht die Zahl der notwendigen Fassungsarten unnötig zu erhöhen.

4. Amerikanische Miniatur-Röhren

stellen Spezialentwicklungen dar für Taschenempfänger, Schwerhörigengeräte und elektronische Anwendungen. Sie

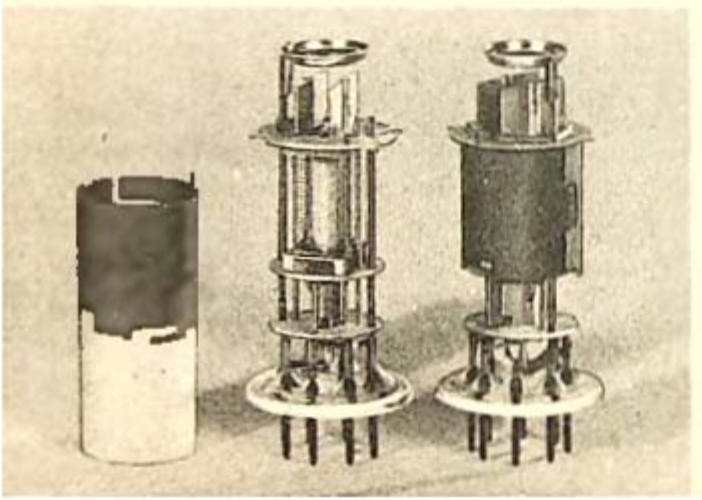


Bild 19.
Die Pico-Röhre
ECL 113
in verschiedenem
Montagezustand
(Telefunken)

werden z. B. zu Tausenden in großen elektronischen Rechenmaschinen benötigt, wo sie wegen ihrer Kleinheit einen erheblichen Raumgewinn ermöglichen. Auch die Miniaturröhren sind sockellose Preßglasausführungen, bei denen wegen der unsymmetrischen Stiftanordnung auch noch auf jede Führung und Arretierung in der Fassung verzichtet wird. In Deutschland werden Miniaturröhren für Spezialzwecke in begrenztem Umfang von der Hamburger Firma Hiller hergestellt [27].

5. Einzelheiten über:

a) K a t o d e n

Aufgabe der Katode ist: eine konstante Anzahl von frei in das Vakuum fliegenden Elektronen zu liefern, wobei die Ablösung der Elektronen von der Katodenoberfläche durch Wärmezufuhr ermöglicht wird (Heizung). Grundsätzlich steigt die Anzahl der abgegebenen Elektronen (Emission) mit der Temperatur der Katoden-Oberfläche und der Beschaffenheit der „aktiven" Schicht. Als Katodenmaterial erscheinen deshalb von vornherein Stoffe mit großem Vorrat an freien Elektronen geeignet, also z. B. Metalle. Die Emission der Elektronen kommt dabei so zustande, daß bei Erhitzung die Geschwindigkeit der durcheinanderwirbelnden freien Elektronen so groß (600...1200 km/sec) wird, daß einem Teil der Austritt aus dem festen Molekülverband möglich ist. Die gerade zum Austritt ausreichende Geschwindigkeit, d. h. die Austrittsarbeit in Elektronenvolt (eV), ist für die Leistungsfähigkeit einer Katode von großer Bedeutung. Die Metalle haben eine verhältnismäßig hohe Austrittsarbeit (Wolfram: 4,5 eV), so daß eine entsprechende Erhitzung für genügende Elektronenemission nötig ist. Wie wir sehen werden, fand man später andere Katodenstoffe, die mit kleinerer Betriebstemperatur und geringerer Heizleistung höher emittierten als reine Metallkatoden.

Direkt geheizte Reinmetall- und Fremdstoffschicht-Katoden

Einen reinen Wolframfaden als Katode für Empfängerröhren zu benutzen, ist unwirtschaftlich, da bei ihm selbst

eine ungünstig hohe Temperatur (2200° C) nur eine verhältnismäßig geringe Emission (Elektronenausbeute 4 mA/W) erzielt wird. Derartige Reinmetallkatoden werden lediglich dort verwendet, wo ihre Unempfindlichkeit und ihre konstruktive Einfachheit ihre sonstigen Nachteile überwiegen, also z. B. im Senderöhrenbau. Ein Verfahren, das zur Erhöhung der Elektronenemission von Wolframkatoden auf 25 mA/W bei niedrigerer Temperatur (1500° C) führt, besteht darin, dem Wolframpulver vor dem Zusammensintern 1...2 % Thoriumoxyd zuzufügen (wovon nach der Bearbeitung etwa 0,7 % übrigbleibt). Bei hoher Temperatur (2300...2500° C) und sehr hohem Vakuum wird das Thoriumoxyd reduziert und bildet auf der Oberfläche des Fadens eine monomolekulare aktive Schicht. Thorium selbst (Austrittsarbeit: 3,3 eV) sendet schon bei niedriger Temperatur reichlich Elektronen aus; auf Wolfram ergibt die Thoriumschicht jedoch eine weit bessere Elektronenemission. Thorierte Wolframfäden sind sehr empfindlich und fordern ein gutes Vakuum, damit die Schicht nicht durch auftretende Ionen zerstört wird. Weil sie bei niedrigeren Temperaturen (Gelbglut) betrieben werden können, ist der Heizleistungsbedarf wesentlich geringer als bei Fäden aus reinem Wolfram.

Nach dem thorierten Wolframfaden baute man die Barium-Dampf-Katode. Hier wurde ein Reinmetall- oder Bariumoxydfaden erst mit dem übrigen System zusammengebaut und danach im Vakuum ein dünner Bariumniederschlag aufgedampft. Zu diesem Zweck trug die Anode derartiger Röhren eine taschenförmige Kammer, in der sich etwas Bariumacid (Barium-Stickstoffverbindung) oder auch eine Aluminium-Barium-Verbindung befand. Diese wurde während des Pumpens durch Wirbelstromerhitzung verdampft und der dabei frei werdende Stickstoffanteil abgesaugt. Da sich der Bariumdampf auf den kalten Heizfaden niederschlägt, also gewissermaßen von der Anodentasche auf die Heizdrähte hinüberdestilliert wird, sprach man auch von Destillationskatoden. Die Betriebstemperatur betrug etwa 750° C, so daß die Heizleistung gegenüber den thorierten Wolfram-Katoden erheblich gesenkt werden konnte. Da die aufgedampfte Schicht

aber nur sehr dünn war (0,1...5 µ), hatten diese Katoden keine hohe Lebensdauer. Allerdings konnten sie oft durch erneutes Glühen der Anode regeneriert werden.

Direkt und indirekt geheizte Oxyd-Katoden

Deswegen ersetzte man die Bariumaufdampfung durch einen Aufstrich von sogenannter Barium-Paste, den wir bei modernen Batterieröhren, bei Gleichrichterröhren und bei den technischen Röhren von Siemens & Halske vorfinden. Auch fast alle indirekt geheizten Katoden sind Barium-Paste-Katoden. Bei diesen Katoden, die zuerst in die Röhren RE 134 (1927), RE 034 u. a. eingebaut wurden, ist bei einer Betriebstemperatur von 850° C der erforderliche Heizstrom geringer und damit der Widerstand größer als bei den älteren Katodenarten. Daher ist auch der Heizfaden bei direkt geheizten Bariumröhren länger, was bei den genannten Typen eine zickzackförmige Unterbringung des Fadens in einer Ebene und einen sich daraus ergebenden kastenförmigen Aufbau der übrigen Elektroden um die Katode bedingt **(Bild 20).**

Die Barium-Paste entsteht aus einer Mischung von Barium- und Strontium-Karbonaten (zu etwa gleichen Teilen oder im Verhältnis $^1/_3 : {}^2/_3$), oft mit Zusatz von Calzium-Karbonat und verschiedenen Bindemitteln. Die Karbonate werden gemischt, in der Kugelmühle bis auf die gewünschte Korngröße gemahlen und in Alkohol gewaschen. Die fertige Paste wird durch wiederholtes Tauchen, Spritzen oder auf galvanischem Wege (Elektrophorese) auf das Nickelband (AZ 1, AZ 11) oder auf das Katodenröhrchen (bei indirekt geheizten Röhren) aufgebracht. Auf dem Pumpstand wird die Paste-

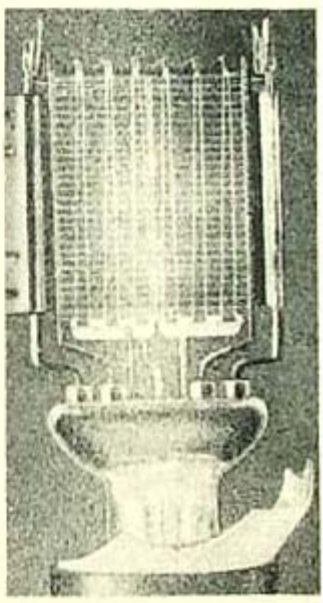


Bild 20. Heizfaden der AD 1 (Ratheiser)

Katode formiert, d. h. ihre Karbonate werden durch Glühen, evtl. unter gleichzeitiger Stromentnahme, in eine poröse Oxydschicht verwandelt (Oxyd-Katode). Die Oxyde selbst lassen sich nämlich nicht vorher aufbringen, weil sie sich in Luft unter Assimilierung von Kohlensäure sofort wieder in Karbonate verwandeln würden.

Diese Erdalkalioxyde haben schon bei Temperaturen von 750...800° C (dunkelrot glühend) eine sehr viel höhere Elektronenemission (Elektronenausbeute 50...150 mA/W als Wolfram bei 3000° C. Man verwendet daher heute fast ausschließlich Oxyd-Katoden für direkt und indirekt geheizte Röhren. Die Emission der Oxydschicht wird durch Verunreinigungen des Kernmaterials unerwünscht beeinflußt. Man weiß, daß bei Nickelträgern Spuren von Eisen, Kohlenstoff, Silizium und Mangan schädlich wirken. Die Untersuchungen über den Mechanismus dieser Störungen sind aber noch nicht abgeschlossen. In letzter Zeit wurden dagegen neue Erkenntnisse über den Leitungsmechanismus der Oxydkatode veröffentlicht [28], die u. a. über eine Änderung der Elektronenleitung bei 800° K berichten. Während man als Kernmaterial bei den älteren direkt geheizten Röhren vielfach Nickel verwendete, benutzen moderne Batterieröhren vorzugsweise Wolframfäden von 10 µ Durchmesser bei einer Heizleistung von 30...120 mW. Sie erhalten meist nur eine 10 µ dicke Oxydschicht (gegenüber 20...80 µ bei direkt geheizten Gleichrichterröhren).

Im Betrieb müssen alle Oxydkatoden möglichst genau (± 5 %) auf der richtigen Temperatur gehalten werden. Bei Überheizung verdampft nämlich metallisches Barium aus der Aktivschicht, wodurch die Emission entsprechend zurückgeht. Bei Unterheizung dagegen wird aus den Oxyden Sauerstoff frei, der sich an der Katodenoberfläche anlagert und dort die Emission verhindert (Vergiftung der Katode).

Wie wir sahen, konnte im Laufe der Zeit die erforderliche Heizleistung ständig verringert werden. Dabei wurden jedoch gewisse einheitliche Spannungs- oder Stromdaten beibehalten. Es wurde für die wechselstromgeheizten Röhren (mit einigen Ausnahmen) die ursprünglich vom zweizelligen

Blei-Akkumulator bedingte 4 Volt-Heizspannung übernommen, während die 6,3 Volt-Heizung mit den ersten Röhren für Autoempfänger eingeführt wurde. Aus wirtschaftlichen Gründen (Serienspeisung) werden Allstrom-Röhrenserien dagegen auf einen bestimmten Strom abgestimmt (in USA. 300 und 150 mA, in Deutschland 200, 100 und 50 mA), während die Heizspannungen bei 2...6 W Leistungsaufnahme erheblich höher (6,3...90 Volt) lagen. Bei den Batterieröhren wurde mit abnehmendem Heizleistungsbedarf im Interesse eines möglichst geringen Spannungsabfalls längs des Heizfadens die Heizspannung von 4 Volt auf 2 Volt (K-Serie) und schließlich auf 1,2 Volt (D-Serie) verringert.

Die *Fabrikation* des Heizfadens durchläuft über 70 Arbeitsgänge (Bild 21). Das Wolframmetall wird durch Reduktion aus seiner Sauerstoffverbindung als Pulver erhalten, das in hydraulischen Pressen zu Stäben gepreßt wird. Das Gefüge dieser Stäbe ist aber noch verhältnismäßig locker. Daher

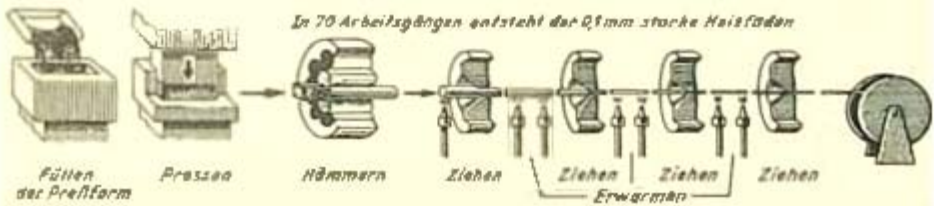


Bild 21. Die Herstellung des Heizfadens (Ratheiser)

werden sie unter Strom gesetzt und so bis dicht unter den Schmelzpunkt erhitzt, wobei sie etwas schrumpfen (Sinterung). Dann kommen sie glühend in die sogenannte Hämmermaschine, wo sie fester, dünner und runder gehämmert werden. Die dadurch gewonnenen Rundstäbe werden durch Ziehen weiter verarbeitet. An den Grobzug bei Glühtemperatur schließen sich weitere Ziehvorgänge an, bis der gewünschte Durchmesser erreicht ist. Die fertigen Wendeln, Doppelwendeln usw. werden anschließend mit einem Isolierüberzug bzw. der aktiven Schicht versehen.

Aufbau und Fertigung indirekt geheizter Katoden

Als man in der Empfängertechnik dazu überging, die Anodenspannung dem Lichtnetz zu entnehmen, trat auch die Forderung nach netzgeheizten Röhren auf. Bei direkter Heizung der Batterieröhren über einen Heiztransformator erhielt man eine starke Brummodulation, da sich ja die Heizfadentemperatur und folglich die Emission im Rhythmus der Netzfrequenz änderten. Nachdem man zunächst versucht hatte, eine größere Wärmeträgheit durch dickere Heizdrähte und eine geringere Heizspannung zu erreichen, kam 1927 die erste indirekt geheizte Röhre (A 2002 W von Valvo) auf den Markt.

Neben der Möglichkeit der Speisung aus dem Netz ergaben sich folgende Vorteile: 1. elektrische Trennung zwischen Heizstromkreis und Katode als Elektronenquelle. Dadurch Erleichterung vieler schaltungstechnischer Aufgaben. 2. Einheitliches Potential der Katodenoberfläche gegenüber dem Steuergitter (Äquipotentialkatode), während bei direkt geheizten Röhren jedes Heizfadenelement wegen der verschiedenen Vorspannung gegenüber dem Gitter seine eigene Raumladungskennlinie hat.

(Die Gesamtröhrenkennlinie stellt also bei direkt geheizten Röhren eine Überlagerung von Teilcharakteristiken dar, durch die die Steilheit der Röhre kleiner wird als bei gleicher Potentialverteilung längs der Katode. Aus diesem Grunde wird auch ihre Heizspannung möglichst niedrig gewählt.)

3. Wegen der höheren mechanischen Festigkeit der indirekt geheizten Katode können die anderen Elektroden näher an diese herangebracht werden, wodurch neben einer Verringerung der Systemabmessungen auch größere Steilheiten erreicht werden können.

Ihre Nachteile sind: etwas *höhere Heizleistung* und das *Wechselstromfeld des Brenners*. Beide haben natürlich zusätzliche Schwierigkeiten für Konstruktion und Fabrikation verursacht. Ein Nachteil ist auch die Möglichkeit von Brummstörungen infolge einer Leitfähigkeit zwischen Heizdraht und Katode, welche von Elektronenemission oder von ungenügender Isolation herrühren kann. In einigen Schaltungen tritt zwischen Faden und Katode eine hochfrequente Wechsel-

spannung der Eingangssignalfrequenz auf. Die Leitfähigkeitsänderungen können dann wieder in das Eingangssignal hineinmoduliert werden [30], was durch geeignete Schaltmaßnahmen verhindert werden muß.

Verringerung der Heizleistung

Grundsätzlich gibt es drei Wege, um die Heizleistung indirekt geheizter Röhren herabzusetzen:

1. Die Cäsiumkatode, die nur auf 300° C erhitzt zu werden braucht. Sie ist theoretisch sehr aussichtsreich, jedoch technisch noch nicht ausgereift. Vor allem scheint ihre Lebensdauer zu gering zu sein.

2. Die Verkleinerung der Katode. Eine kleinere Katode bedingt eine vollkommene Neukonstruktion der Systemaufbauten, wie sie erst bei Entwicklung der Stahlröhren durchgeführt wurde.

3. Wahl eines Katodenmetalls mit günstigeren Strahlungseigenschaften, z. B. Kupfer. Diese Lösung wurde erstmalig bei der E-Serie gewählt. Kupfer hat nämlich im Infraroten einen erheblich kleineren Strahlungskoeffizienten als Nickel. Nickel weist die Hälfte der Strahlung des schwarzen Körpers auf, Kupfer dagegen nur etwa $^1/_3$. Obgleich der Strahlungskoeffizient der eigentlichen emittierenden Schicht kaum von dem des schwarzen Körpers abweicht, wird die wirkliche Strahlung doch von dem Metall des Katodenzylinders bestimmt. Die aktive Schicht wird im allgemeinen so gleichmäßig dünn gehalten, daß sie für die langwelligen Wärmestrahlen bei einer Schichtdicke von 30...60 µ als durchsichtig gelten kann. Durch die Verwendung der Kupferkatode (Bild 22) wurde ohne Maßänderung des Katodenzylinders eine erhebliche Herabsetzung der Strahlung und damit der Heizleistung (1,5 statt 2,6 W) erzielt. Die Kupferkatode erhielt den gleichen bifilar gewickelten Heizdraht (verwendet bei EB 2, EF 3, EF 7, EL 1 und EZ 1 CuBi) wie die normale Nickelbifilarkatode. Die Mischröhren erhielten keine Kupferkatode, weil deren Kontaktpotential einen anderen Wert hat als das der Nickelkatode und weil das Kontaktpotential und damit der Einsatzpunkt des Gitterstromes, der bei den ande-

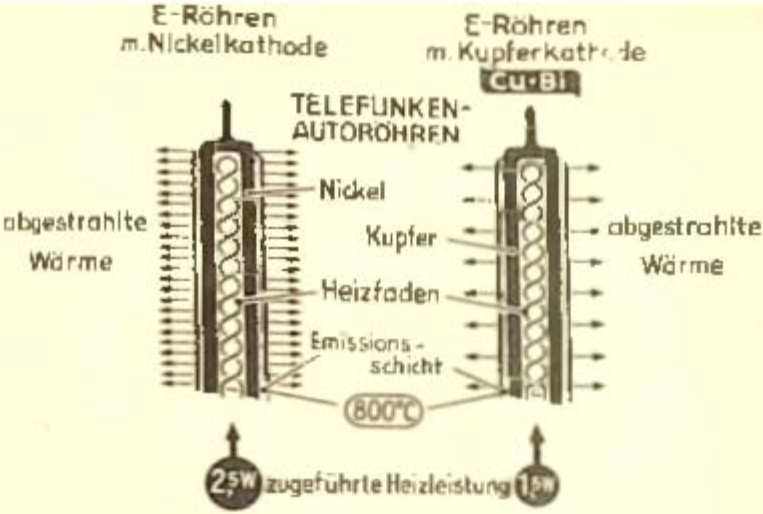


Bild 22. Ersparnis an Heizleistung durch die Kupferkatode (Telefunken)

ren Röhren praktisch belanglos ist, bei den Mischröhren doch so von Einfluß sind, daß auch die übrige Röhrenkonstruktion hätte geändert werden müssen.

Zur Vermeidung eines störenden Heizfadenfeldes

wurde der zuerst haarnadelförmige Heizfaden (Bild 23) bifilar auf ein isolierendes Stäbchen aufgewickelt (Bild 24), so z. B. bei der REN 904 Bi. Die verdrillte Ausführung des Heizfadens vermied also Störungen durch Magnetfelder und wurde außerdem noch durch das Nickel- oder Kupferröhrchen abgeschirmt. Ferner hatte die Katode eine gewisse Wärme-

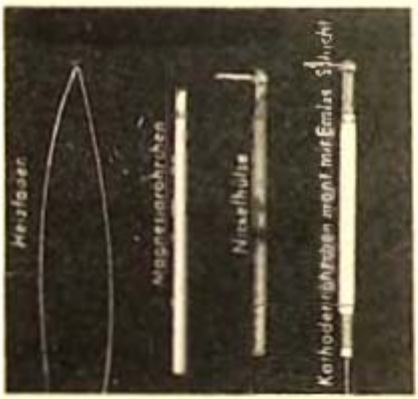


Bild 23. Aufbau der alten Haarnadel-Katode (Telefunken)

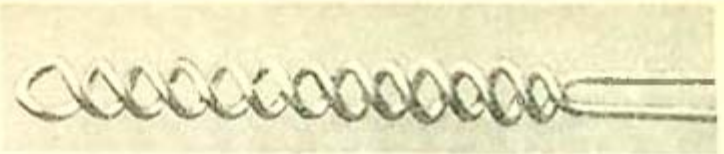


Bild 24b. Bifilar-Heizwendel, stark vergrößert (Ratheiser/Telefunken)

Bild 24a. Herstellung einer Bifilar-Heizwendel

trägheit, wodurch praktisch keine netzfrequenten Schwankungen in der Emission auftraten. Bei den Sparkatoden der harmonischen Serie, z. B. EF 12, konnte die Heizleistung so weit verringert werden, daß auf die Bifilarwicklung des Fadens wieder verzichtet werden konnte.

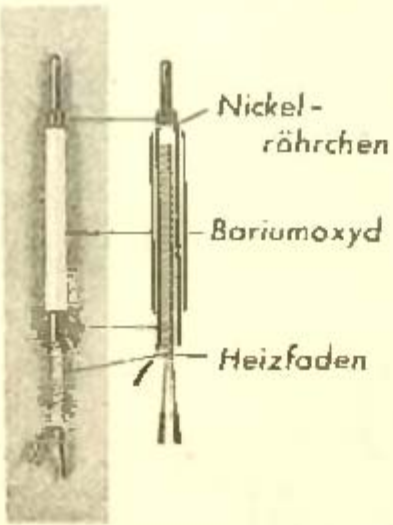


Bild 25. Schnellheizkatode der AC 2 (Ratheiser)

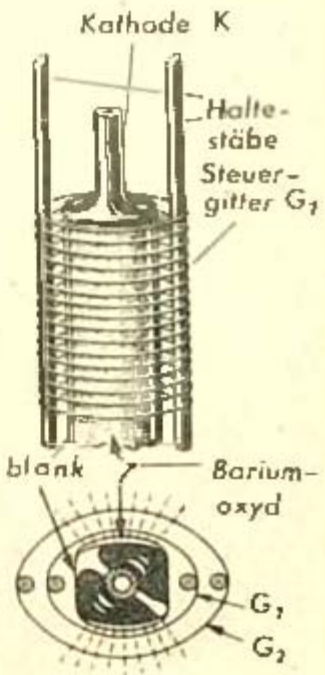


Bild 26. Oval-Katode (Ratheiser)

Eine indirekt geheizte Katode besteht grundsätzlich aus dem eigentlichen Heizfaden (Brenner), einer darumliegenden Isolierschicht bzw. einem Isolierkörper, einer leitenden Metallschicht und der auf dieser aufgebrachten aktiven Emissionsschicht. Als Brenner dient heute meist eine mit dem wärmebeständigen Alundum ($AL_2 O_3$) elektrophoretisch isolierte Wolframwendel. Der isolierte Brenner wird in ein Nickelröhrchen eingefügt (**Bild 25**), das seinerseits die aktive Schicht trägt (Nickel gewährleistet gutes Haften der Schicht). Die aktive Schicht besteht, wie bereits besprochen, heute vorwiegend aus Barium-Oxyd.

Um die Katode besser ausnutzen zu können und aus anderen Gründen, gibt man ihr neuerdings einen ovalen Querschnitt (AL 5, **Bild 6 und 26**) und bestreicht nur die breiten Seiten mit Barium-Paste. Die Schmalseiten haben dann praktisch keinen Elektronenaustritt. Der Vorteil dieses Katodenprofils besteht u. a. darin, daß der Verlust an Elektronen, die sonst auf die Befestigungsstäbe des Gitters treffen, vermieden wird und daß die Durchgriffsverzerrungen bei größerer Steilheit geringer sind [31], wenn man den nachgeordneten Elektroden den gleichen ovalen Querschnitt wie der Katode gibt.

Fertigungsfragen

Bild 24a zeigt vier Ausschnitte der Herstellung einer älteren Heizwendel. Um einen Stahldorn mit einem Einschnitt an der Stirnseite, der den Wolframfaden erfaßt, wickelt eine rotierende Düse aus Stahl den Wolframdraht unter gleichzeitigem Vorschub zu der in **Bild 24b** gezeigten Bifilarwendel. Damit der Draht während des Wickelns nicht unter seiner Sprödigkeit leidet, wird er elektrisch geheizt. Nach dem Wickeln wird die Bifilarwendel von dem Dorn abgezogen und einer Wärmebehandlung unterworfen, damit sie ihre mechanische Spannung verliert und ihre Form für immer beibehält. Sie wurde früher auf ein Magnesiumoxydstäbchen aufgeschoben und mit Isolierstoff (Aluminiumoxyd) überzogen oder in ein Magnesiaröhrchen eingeschoben. Alle neuen Katoden mit alundumisoliertem Brenner konnten

Bild 22a. Fertige Doppelwendel, unbehandelt

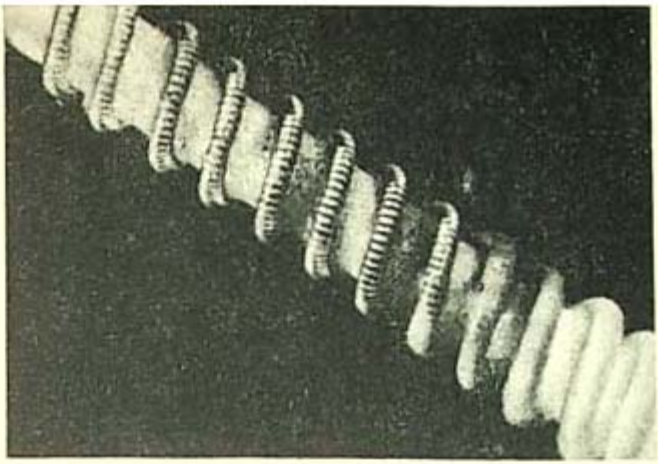


Bild 27b. Doppelwendelkatode, teilweise bespritzt, stark vergrößert (Telefunken)

durch Fortfall des Magnesiaröhrchens und des Stützdornes kleiner gehalten, ihre Heizleistung und Anheizzeit verringert werden.

Um bei indirekt geheizten Glühkatoden die dem geforderten Spannungsabfall entsprechende Drahtlänge des Heizdrahtes unterbringen zu können, mußte man zunächst den Brenner teilweise außerhalb der Aquipotentialfläche und des Isolierkörpers überstehen lassen. Die Folge davon war, daß der Heizdraht an den Stellen, wo die Katode ihm Wärme entzog, eine tiefere Temperatur besaß, als an seinen freiliegenden Stellen, so daß bei hinreichender Heizung die Gefahr bestand, daß der Heizdraht an den freiliegenden Stellen durchbrannte. Um dies zu verhindern, versuchte man [32], diese freien Stellen außerhalb der eigentlichen Katodenkörper mit Stoffen wie Quarz oder Porzellan zu umgeben, die für gleiche Wärmeableitverhältnisse über den ganzen Heizdraht hin sorgten. Endgültige Abhilfe brachten aber erst die Doppelwendelbrenner.

Bei den Hochvoltkatoden der Allstromröhren wird der Heizfaden zu einer aus der Glühlampentechnik her bekannten Doppelwendel aufgewickelt, um die nötige Drahtlänge (etwa 40 cm) unterzubringen. Daher wird der Draht meist im heißen Zustand auf einen dickeren Kerndraht gewickelt, der nach dem zweiten Wendeln herausgeätzt wird (**Bild 27**).

Die besonderen fabrikatorischen Schwierigkeiten liegen darin, daß der gewendelte Heizfaden mechanisch und mit genügender Isolationsfestigkeit im Katodenrohr untergebracht wird. Die wahre Größe eines einfachen Heizers geht sehr schön aus **Bild 28** (25fach vergrößert) im Vergleich zu einer Stecknadel hervor. Dieses Bild gibt uns gleichzeitig einen Begriff von der hier geforderten Präzision, die für einen Massenartikel außerordentlich weit getrieben ist.

Das Katodenröhrchen der älteren Röhren wurde aus festem Werkstoff (meist Magnesia) von einer Spezialmaschine als Strang geformt, von dem dann Stücke der erforderlichen Länge abgetrennt und gebrannt wurden. Alle modernen Röhren haben statt dessen Nickelröhrchen, die auf einer Ziehbank gezogen und dann auf Maß geschnitten werden. Die fertigen Katoden werden jetzt mit der aktiven Schicht versehen. Dies geschieht durch Aufspritzen gemäß **Bild 29.**

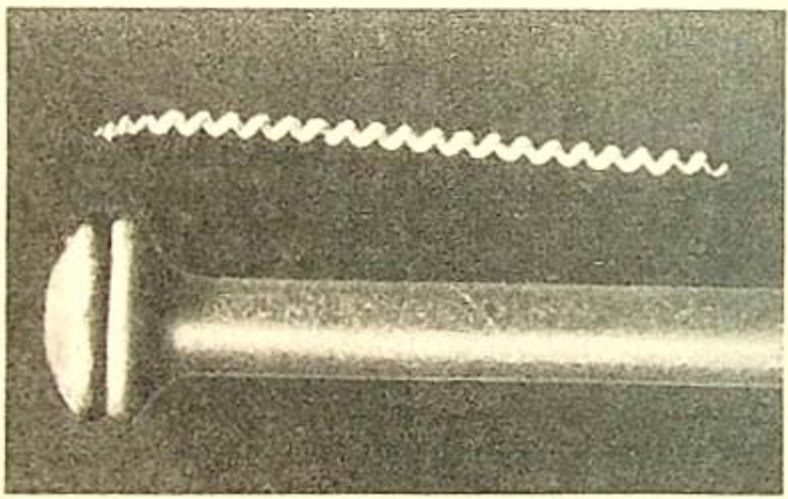


Bild 28. Einfache Heizfadenwendel im Vergleich zu einer Stecknadel, 25fach vergrößert (Telefunken)

Welche Fülle von Problemen aller Art allein mit der Katode zusammenhängen, mögen einige Stichproben aus der umfangreichen Patentliteratur des Gebietes andeuten:

Um z. B. die Herstellung direkt geheizter Katoden zu vereinfachen und ein gutes Haften der wirksamen Oxydschicht am Trägerdraht zu erzielen, wird der als Kern dienende metallische Trägerdraht an der Oberfläche ganz oder teilweise oxydiert und darauf mit dem in der Röhre erzeugten Dampf

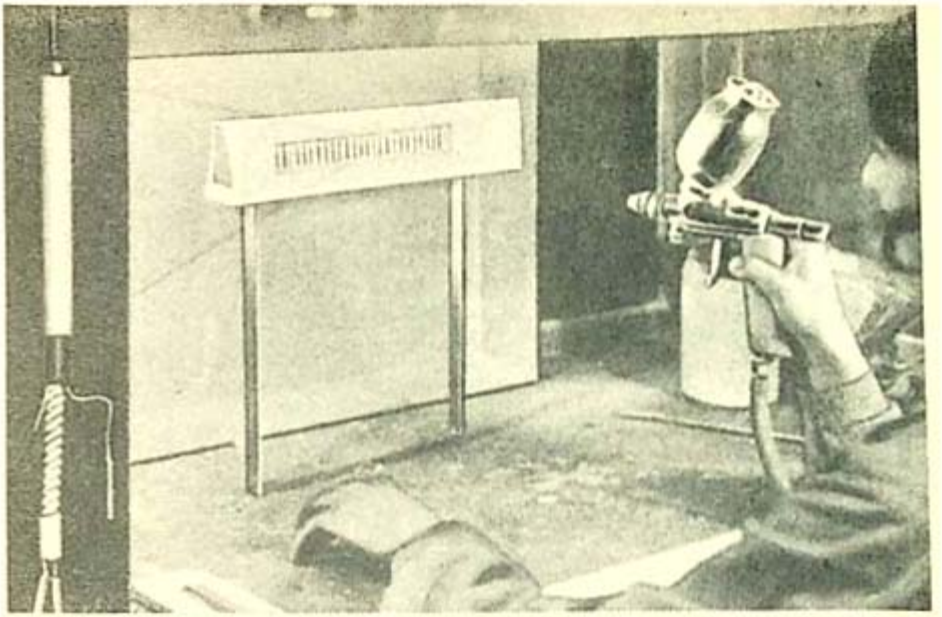


Bild 29. Aufspritzen der aktiven Schicht auf die Katodenröhrchen (Rathelser)

eines oder mehrerer Erdalkalimetalle bei einer bestimmten Temperatur in Berührung gebracht, so daß an seiner Oberfläche Erdalkalioxyde entstehen [33].

Nach einem anderen Vorschlag [34] wird eine Katode in der Weise hergestellt, daß auf einen Kern aus oxydierbarem Stoff eine Schicht aufgebracht wird, die ein Erdalkalimanganat oder ein Erdalkalichromat, z. B. Bariummanganat oder Bariumchromat, enthält. Nach Aufbringen der Schicht wird die Katode derart erhitzt, daß das Manganat oder Chromat zersetzt wird. Hierdurch wird der Kern oxydiert und zu gleicher Zeit der Elektronen emittierende Stoff freigemacht. Die wirksame Schicht einer so hergestellten Katode haftet besonders gut an dem Kerndraht, was vermutlich auf die gleichzeitige Oxydation des Kernes bei Freiwerden der emittierenden Stoffe zurückzuführen ist.

Um ein Abblättern des Oxydes von dem Trägerdraht der Oxydkatode zu verhindern, werden nach einem anderen Verfahren [35] die Erdalkalioxyde selbst unter Beimengung von Platinmohr auf den Trägerdraht aufgebracht. Die Lebensdauer und die Elektronenemission der Katode sollen hierdurch wesentlich verbessert werden.

Zur Herstellung von Hochleistungskatoden hat man Alkali- und Erdalkalimetalle deshalb kaum benutzt, weil diese Metalle bei den für eine nennenswerte Emission in Betracht kommenden Temperaturen zu leicht verdampfen, so daß die Lebensdauer der Katode zu gering ist. Zur Herabsetzung des Verdampfungsgrades können diese Metalle auf einen in seiner Gesamtheit hochporösen Trägerkörper aus Kohle, Silicagel usw. aufgebracht werden [36] und zwar durch Überdestillieren von der Anode her oder durch Aufspritzen. Um den Trägerkörper leicht erhitzen zu können, bekommt er die Form eines Röhrchens, durch das ein Glühfaden hindurchgeführt wird.

Für plattenförmig gedachte Katodenflächen schlägt Dällenbach [37] als emittierende Katodenteile zylindrische oder konische Hohlkörper vor, die

von innen durch Glühdrähte geheizt werden. Die Glühdrähte sind parallel geschaltet, die Rückleitung des Heizstromes erfolgt durch die Wandungen der Hohlkörper und durch die Grundplatte. Die Gesamtkatode läßt sich aus einer beliebig großen Zahl gleicher Elemente zusammensetzen, wobei man durch entsprechende Anordnung der Hohlkörper eine sehr gleichmäßige Verteilung der Heizströme erzielt und sich die einzelnen Katodenkörper einen wesentlichen Teil der ausgestrahlten Wärmeenergie gegenseitig wieder zustrahlen können. Die Emissionsschicht wird auf den Hohlkörpern außen aufgebracht. Für Empfängerröhren dürfte diese Katodenart allerdings nicht in Frage kommen.

Eine ebenfalls bei Empfängerröhren noch nicht benutzte Möglichkeit zur Beseitigung des störenden Heizer-Magnetfeldes bei Wechselstrombetrieb besteht darin, daß die Katode als mit einem konzentrischen Innenleiter versehene zylindrische Röhre ausgebildet wird, die an einem Ende leitend mit dem Innenleiter verbunden ist [38]. Der äußere Katodenhohlkörper wird dabei zweckmäßig aus einem Stoff mit geringem spezifischem Widerstand, z. B. Nickel, hergestellt, während der Innenleiter aus einem Halbleiter, z. B. Siliziumkarbid, besteht. Außerdem wird der äußere Leiter so ausgebildet und sein Widerstand derart bemessen, daß er im wesentlichen als Äquipotentialkatode wirkt. Er kann außen mit der üblichen Oxydmischung von Barium und Strontium bedeckt sein. Bei dieser Katodenanordnung ist das Magnetfeld des Heizstromes praktisch vollständig aufgehoben, da der Heizstrom in den beiden koaxialen Leitern in entgegengesetzter Richtung fließt.

Heizkörper mit einer Isolierschicht, auf der sich die emittierende Substanz unter Zwischenlage einer Metallschicht befindet, haben folgenden Nachteil: da die elektrolytisch niedergeschlagene oder als Metallröhrchen hergestellte Metallschicht wegen der hohen Betriebstemperatur der Katode starken thermischen oder chemischen Wirkungen ausgesetzt ist, werden dünne, elektrolytisch niedergeschlagene Metallschichten sehr leicht zerstört. Andererseits können dicke Metallröhrchen in ihrer lichten Weite niemals genau dem Durchmesser der Isolierröhrchen angepaßt werden, so daß ein großes Temperaturgefälle zwischen Isolier- und Metallröhrchen vorhanden ist. Deswegen kann die metallische Schicht aus einer, in der Längsrichtung der Katode ungeteilten Metallfolie von 0,015...0,15 mm Stärke hergestellt werden. Derartige Folien [39] sollen eine genügende physikalisch- und chemische Widerstandsfähigkeit besitzen und gleichzeitig so schmiegsam sein, daß sie sich der Oberfläche des Isolierröhrchens praktisch vollkommen dicht anlegen. Im Betrieb soll ein Auffedern der um das Isolierröhrchen herumgerollten Metallfolie um so weniger zu befürchten sein, als ja die Emissionsschicht gleichzeitig einen Mantel um die Metallfolie bildet, der diese in ihrer Lage festhält. Als Werkstoff für die Metallfolie eignen sich Eisen, Kupfer, Nickel und Platin.

Eine gänzlich neue Katodenform, die schnelle und gleichmäßige Erhitzung bei indirekter Heizung ermöglichen soll, schlug Philips [40] vor. Danach werden diese Katoden aus einem Hohlzylinder (z. B. Nickel) hergestellt, der eine Anzahl von Kanälen enthält, in denen isolierte Heizdrähte angeordnet sind. Die Oberfläche des leitenden Metallkörpers kann aufgerauht sein, um eine bessere Haftung des Emissionsstoffes auf ihr zu erreichen. Bei dieser Anordnung kann die innere wie die äußere Wand des Hohlzylinders eine Emissionsschicht erhalten.

Zur Herstellung von indirekt geheizten Äquipotentialkatoden normaler Bauart verwendet man bei älteren Katoden als Träger für die Emissionsschicht Quarzröhrchen, in die der Glühdraht eingezogen wird. Die lichte Weite des Quarzröhrchens konnte dabei dem Durchmesser des Glühdrahtes nur soweit angepaßt werden, daß der Glühdraht noch leicht in das Quarzröhrchen eingezogen werden konnte. Der Glühdraht hatte also ein gewisses

Spiel, das eine ungleichmäßige Erwärmung des Quarzröhrchens mit nachfolgender Zerstörung der Katode zur Folge hatte. Um eine innige Berührung von Glühdraht und Quarzröhrchen zu erzielen und gleichzeitig zu verhindern, daß das Röhrchen sich auf dem Glühdraht verschieben kann, wird es [41] zweckmäßig auf seiner Länge mit dem Glühdraht verschmolzen, sobald dieser in das Röhrchen eingezogen ist. Verwendet man emittierende Stoffe, die mit Quarz reagieren, so wird auf der Quarzröhrenoberfläche in bekannter Weise zunächst eine Metallschicht aufgebracht, auf die dann der emittierende Stoff aufgetragen wird.

Kalte Katoden

Als Folge der „Verdampfungswärme" der Elektronen ist eine Abkühlung der Katode vorhanden, die ebenso wie die eigentliche Austrittsarbeit durch Heizenergiezufuhr ausgeglichen werden muß. Es hat deswegen nicht an Versuchen gefehlt, ungeheizte, sogenannte „kalte Röhren" herzustellen.

Katoden mit wirksamer Emission ohne Energiezufuhr von außen sind an sich undenkbar. Jedoch sind prinzipiell zwei besondere Wege der Energiezufuhr möglich:

1. indem Elektronen nach *Seibt* aus einer Glimmentladung freigemacht werden, die zwischen geeignet ausgebildeten Elektroden stattfindet (österr. Patent um 1929). Die nach diesem Prinzip (Ionisationskatode) aufgebaute Röhre von *Hund* (USA, 1932) benutzt normale Stoßionisation wie bei Glimmlampen: neutrale Gasatome bzw. Moleküle werden in negative Elektronen und positive Ionen aufgespalten. Da die Ionen nicht gebraucht werden, werden die beiden Elektroden, zwischen denen die Glimmentladung stattfindet, innerhalb der eigentlichen Katode angeordnet. Der Katodenzylinder ist für den Elektronenaustritt durchlöchert und entspricht einer Äquipotentialkatode. Die Katode zieht mit ihrer etwa 150 Volt höheren Spannung die Elektronen an, die z. T. durch die Löcher fliegen, während die positiven Ionen abgestoßen werden. Die übrigen Elektroden zeigen nichts Ungewöhnliches, jedoch hat die Anode einen sternförmigen Querschnitt, um Unsymmetrien zu vermeiden. Der Gasdruck beträgt zwischen 10 und 20 mm Hg. Als Vorteile werden genannt: kein Hochvakuum, mechanisch unempfindlich, billige Katodenkonstruktion, Steilheit und Emission durch Glimmstreckendaten regelbar. Diese Vorteile sind jedoch nur theoretischer Natur. Ein praktisch brauchbarer Massenartikel

war hiernach bis heute nicht herzustellen. Lediglich für Netzgleichrichtung haben sich Röhren (z. B. RGN 1500, 0 Z 4 u. a.) mit Glimmkatode einführen können. Neben den obenerwähnten Nachteilen stellte sich auch störende Hf-Selbsterregung ein.

2. Durch sogenannte Fotoemission nach *v. Ardenne* (1925). Hier geschieht die Emission durch Belichten der Katodenoberfläche von außen durch die Glaswandung der Röhre hindurch, wobei die Katode ähnlich wie bei Fotozellen als Emissionsschicht eine mit Wasserstoff aktivierte Kaliumschicht trägt. Die Emission der Fotokatode ist allerdings verhältnismäßig klein, so daß eine Verwendung in normalen Verstärkerstufen nicht in Frage kommt. In Widerstandsverstärkern jedoch, die hohe (10^7 Ohm) Anodenwiderstände zur Kopplung enthalten, können diese Röhren trotz der geringen Ergiebigkeit für Spannungsverstärkung benutzt werden.

Radioaktive Stoffe als Emissionsschicht scheiden aus, weil die beim Zerfall freiwerdenden Elektronen eine außerordentlich große Anfangsgeschwindigkeiten besitzen, weshalb sie durch übliche Gitterspannungen nicht gesteuert werden können.

In neuester Zeit werden durch Fortschritte auf dem Gebiet der Halbleiter-Theorie die ursprünglich vom Detektor abstammenden Kristalldioden zu Trioden und Tetroden erweitert. Diese als Transistoren bezeichneten kalten Röhren haben zumindest für Spannungsverstärker eine große Zukunft. So interessant sie sind, müssen wir hier aus räumlichen Gründen auf eine Besprechung verzichten. Sie werden in einem anderen Heft der RPB behandelt.

b) Steuer- und Hilfsgitter

Steuer- und Hilfsgitter haben die Aufgabe, den von der Katode ausgesandten Elektronenstrom auf seinem Wege zur Anode zu beeinflussen. Daher sind sie, mit einer bei den Trioden besprochenen Ausnahme, immer räumlich zwischen Katode und Anode angeordnet.

Der Querschnitt der Gitter kann kreisrund, elliptisch oder rechteckig sein, wird aber heute meist der Katodenform an-

gepaßt, um bei großer Steilheit die Durchgriffsverzerrungen klein zu halten.

Das Steuergitter der Lieben-Röhre hatte die Form eines gewöhnlichen Siebes, jenes der A-Röhre war rostartig gestanzt. Das erste Spiralgitter hatte die RE 11. Es besaß 8 Windungen/cm und war zur Erhöhung der Stabilität an einen besonderen Steg angeschweißt.

Überhaupt ist die Frage der Stabilität der an und für sich leicht deformierbaren Gitter sehr wichtig; denn Änderungen in den mechanischen Abmessungen durch Erwärmung oder durch Erschütterungen ändern auch die Betriebsdaten, wobei thermisch bedingte Elektrodenabstandsänderungen Frequenzverwerfung [42] und mechanische Erschütterungen das bekannte Klingen [43] verursachen. Rhythmische, z. B. durch auftreffende Schallwellen verursachte Änderungen variieren demgemäß im gleichen Takt die Betriebsdaten, was einer Modulation des Elektronenstromes gleichkommt (akustische Rückkopplung [44]). Dieser Effekt wird besonders stark, wenn die anregende Frequenz der mechanischen Eigenfrequenz eines der Gitter nahe kommt und zur Selbsterregung Anlaß geben kann. Die viel benutzte Gitterkonstruktion mit elliptischem Profil und ziemlich dicken Gitterstützstäben, bei der jede Gitterdrahtwindung mit den Gitterstäben verschweißt ist, hat erfahrungsgemäß wenig ausgeprägte Resonanzstellen. Bei durchsichtigen Kolben kann man bei akustischer Anregung das Schwingen des Gitters mit der Lupe betrachten oder auf einen Schirm projizieren.

Der Abstand zwischen Steuergitter und Katode ist besonders bei modernen Röhren äußerst gering, um eine hohe Steilheit zu erhalten. Für den Fall, daß er kleiner ist als die Steigung des Steuergitters, gelten besondere Verhältnisse [45]. Er beträgt z. B. bei der AF 7 schon 0,4 mm, bei der EF 12 sogar nur 0,25 mm (Bild 14). Es besteht daher die Möglichkeit, daß das Gitter sich unter dem Einfluß der Wärmestrahlung der Katode erhitzt und selbst Elektronen aussendet (thermische Gitteremission). Insbesondere besteht diese Möglichkeit bei Röhren mit Oxydkatoden, bei denen ein Teil des Oxydes verdampft und auf das Gitter niedergeschlagen

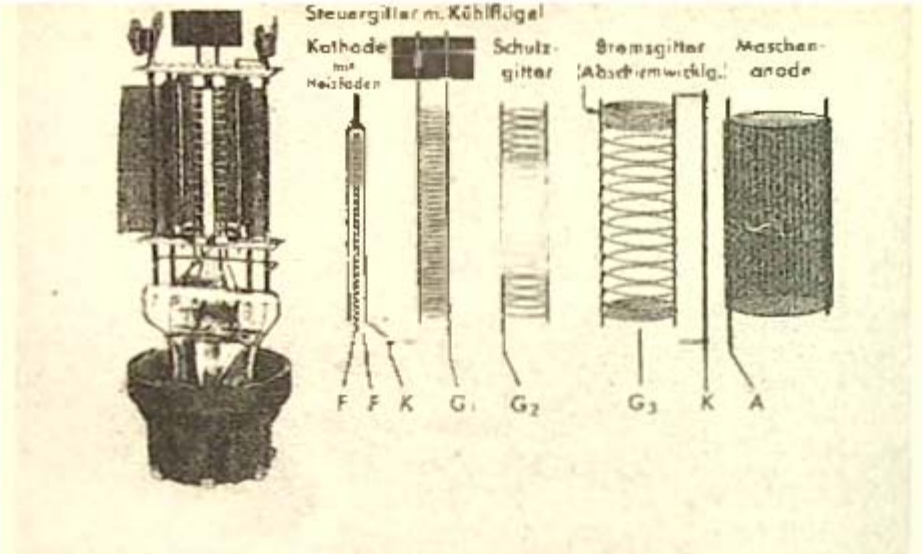


Bild 30. Aufbaubeispiel einer Endpentode in Quetschfußausführung (Telefunken)

ist. Infolge dieses Niederschlages fängt das Gitter bereits bei viel niedrigerer Temperatur an, Elektronen zu emittieren, als sonst auf Grund der Metalleigenschaften des Gittermaterials (Nickel oder Molybdän) zu erwarten wäre. Das erste Gitter wird ja infolge der Katodennähe stärker als die übrigen Gitter erhitzt. Ferner wird zur Erreichung großer Steilheit für dieses Gitter dünner Draht (z. B. 50 µ Durchmesser) benutzt. Die Wärmeabgabe durch Leitung ist jedoch um so geringer, je kleiner die Drahtdicke ist. Alle diese Gründe lassen thermische Elektronenemission des ersten Gitters besonders leicht eintreten. Es kann dann einen Elektronenstrom abgeben, was einer Belastung bzw. Dämpfung des angeschlossenen Kreises gleich kommt. Zur Verringerung dieser Gittererhitzung werden die Haltestege aus Metall hergestellt, das eine große Wärmeleitfähigkeit besitzt, z. B. aus Kupferdraht oder aus Kupfer mit Nickelüberzug. Ein weiteres Mittel ist die Anbringung geschwärzter Kühlflügel (**Bild 30**) an den Gitterhaltestegen, die durch Wärmestrahlung die Wärmeableitung vom Gitter wesentlich unterstützen können. (Bei den Stahlröhren konnte wegen der geringen Heizleistung

und der guten Wärmeabfuhr auf diese Maßnahme verzichtet werden.)

Ein von Heinze und Wagener [46] angegebenes Verfahren zur Berechnung des Wärmeübergangs durch Strahlung wurde von Wagener dazu verwendet [47], die Gittertemperatur von Empfänger- und Senderröhren mit beliebig vielen zylindrischen Elektroden zu berechnen. Danach werden die Innen- und Außenseiten der Elektroden getrennt betrachtet und in der Röhre wirklich vorhandene Gitter durch idealisierte Gitter ersetzt, die nicht runde, sondern flache Windungen und Streben besitzen. Nach der Berechnung der sich im einzelnen ergebenden Einstrahlzahlen des Grundgleichungssystems erweitert Wagener das Verfahren auch auf Gitter, denen eine merkliche Energiemenge durch Wärmeleitung entzogen wird, wofür die für Gitter gültige Wärmegleichung aufgestellt wird. Die Abweichungen zwischen den berechneten Werten und denen von fabrikationsähnlichen Röhren zeigten keinen größeren Fehler als maximal 4 %.

Nicht nur zur Erreichung einer hohen Steilheit, sondern auch aus einem anderen Grunde ist man bestrebt, das Steuergitter möglichst nahe an die Katode heranzubringen. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß eine endliche Laufzeit der Elektronen zwischen Katode und Steuergitter zu einer reellen Komponente der Gitteradmittanz, also zu einer Gitterdämpfung führte [48]. Bei endlicher Laufzeit [10] entsteht eine Komponente des Gitterwechselstromes, die in Phase mit der Gitterwechselspannung ist und die infolgedessen zu einer Dämpfung am Steuergitter führt.

Je größer die Gittermaschenweite, desto größer wird die Abflachung der Charakteristik bei stark negativen Gitterspannungen. Dicke Gitterdrähte und große Ganghöhen führen zu starker Inselbildung. Für ideale 3/2-Potenzcharakteristiken [4 u. a.] ist daher bei runden Gittern eine kleine Steigung bei kleiner Gitterdrahtdicke, also ein feinmaschiges Gitter erforderlich.

Aus verschiedenen, bereits erwähnten Gründen (Ovalkatode, Laufzeit, Klingsicherheit, einfache, genaue Herstellung) werden moderne Gitter mit ovalem Querschnitt hergestellt, wobei die neue Halterung mit Flachstreben eine wärmetechnisch wie mechanisch besonders stabile Bauform darstellt. Bei Ovalgittern mit Rundkatode trat auch noch eine Inselbildung als Funktion des Winkels um die Katodenachse auf [49], weil das Steuergitter einen variablen Abstand von der Katodenoberfläche hatte und die ziemlich dicken Gitter-

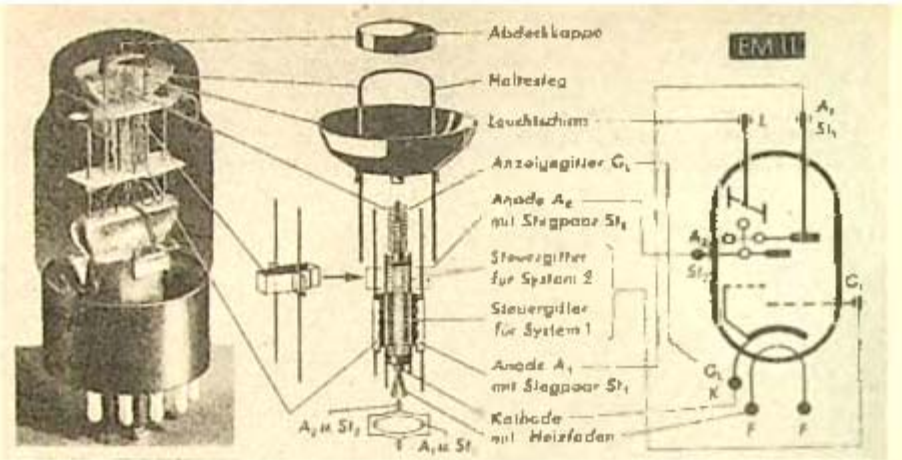


Bild 31. Aufbau und Prinzipschaltbild der EM 11 (Telefunken)

stäbe eine besondere Steuerwirkung ausübten, welche eine Bündelung des emittierten Elektronenstromes zur Folge hatte.

Zur Herabsetzung dieser Inselbildung versuchte man die Steuergitterfläche über ein möglichst großes Winkelgebiet mit der Katodenoberfläche parallel verlaufen zu lassen. Gleichzeitig schien es für diesen Zweck nützlich, die Stäbe, welche das Steuergitter schützen, möglichst weit von der Katode zu entfernen. Es mußte also ein Kompromiß gesucht werden zwischen der erforderlichen Festigkeit der Gitterkonstruktion einerseits und möglichst geringer Inselbildung andererseits. Die beste Lösung war auch hier die ovale Profilkatode [31].

Röhren, bei denen man umgekehrt absichtlich eine Inselbildung längs der Katode hervorrufen will, sind die Regelröhren mit den bereits erwähnten Gittern variabler Steigung zur Erzielung einer von der idealen 3/2-Potenz-Kennlinie stark abweichenden Exponentialcharakteristik [50]. Die Inselbildung wird hier durch zwei Methoden erreicht:

1. dadurch, daß man aus dem fertig gewickelten Steuergitter eine oder mehrere Windungen wieder entfernt,

2. indem der Wicklungsschritt von den Enden des Steuergitters nach der Mitte zu größer wird.

Die zweite Methode wird meist bevorzugt, weil es dabei gelingt, der Kennlinie einen glatten Verlauf zu geben. Die erforderliche Veränderung des Wicklungsschrittes entlang dem Steuergitter zur Erreichung eines bestimmten Kennlinienverlaufes wird meist empirisch festgestellt.

Ein besonders interessantes Gitter ist das Anzeigegitter der EM 11 [51], das 3 verschiedene Durchmesser und veränderliche Steigung aufweist **(Bild 31)**.

Schirmgitter

Das Schirmgitter ist oft noch engmaschiger als das Steuergitter ausgeführt, während die Drahtdicke meist gleich der des Steuergitters ist. Je dichter das Schirmgitter gewickelt ist, desto größer ist das Verhältnis Schirmgittergleichstrom zu Anodengleichstrom. Ein großes Verhältnis ist hier jedoch unwirtschaftlich. Andererseits ergibt ein dicht gewickeltes Schirmgitter gute Abschirmung. Daher macht sich ein Kompromiß bezüglich der Schirmgittersteigung notwendig. Man hat mit Erfolg versucht, den Schirmgitterstrom dadurch zu verringern, daß dem Schirmgitter genau der gleiche Wicklungsschritt erteilt wurde, wie dem Steuergitter (bei gleicher Drahtdicke), so daß die Drähte der Gitter genau hintereinander im Elektronenschatten liegen. Auf diese Weise schießen die Elektronen leichter durch das Schirmgitter hindurch und der Schirmgitterstrom wird kleiner im Verhältnis zum Anodenstrom.

Ein weiterer Grund für die Verkleinerung des Schirmgitterstromes ist folgender:

Bei Schirmgitterröhren tritt höheres Röhrenrauschen als bei Trioden auf, weil bei letzteren durch die elektrische Trägheit der Raumladewolke ein Ausgleich für die ungleichmäßig aus der Katode austretenden Elektronenstromstöße geschaffen ist. Die höhere Rauschspannung bei den Schirmgitterröhren rührt daher, daß aus der Raumladung vom Schirmgitter Elektronen angesaugt werden (Schirmgitterstrom), die wieder zufälligen Schwankungen unterliegen. Diese machen sich auch im Anodenstrom bemerkbar und bedingen eine Erhöhung des Rauschens. Also ist der Schirmgitterstrom möglichst zu verkleinern, um das Rauschen herabzusetzen.

Bei der EF 8 (Philips rote Serie) wurde dieses Problem elektronenoptisch durch ein besonderes Nullgitter zwischen Steuergitter und Schirmgitter gelöst. Das Schirmgitter kann daher kaum von Elektronen getroffen werden, wodurch der Schirmgitterstrom von 2 auf 0,2 mA herabgesetzt wurde. (Nachteil: Erhöhung der Anodenrückwirkung, weil die Steigung der Hilfsgitterwicklung größer sein muß und damit der innere Widerstand der Röhre kleiner wird.)

Bremsgitter [52]

Die erste Röhre mit Bremsgitter war die L 415 D von Valvo, die im Jahre 1927 auf den Markt kam. Wie im Abschnitt II schon ausgeführt, genügt ein Gitter großer Steigung zur Schaffung eines Potentialminimums, das alle Sekundärelektronen zur Umkehr zwingt.

Die früher erwähnten Gründe für die getrennte Herausführung des Bremsgitteranschlusses bei modernen Glasröhren gegenüber seiner unmittelbaren Verbindung mit der Katode innerhalb des Kolbens bei älteren Röhren, fallen bei den Stahlröhren normalerweise weg, so daß dort bei vielen Typen die Bremsgitter wieder zusammen mit Katode und Masse gelegt werden.

Erst beim Arbeiten im Ultrakurzwellenbereich spielen die erwähnten Gründe und die Induktivität der Elektrodenzuführung[1]) wieder eine Rolle, so daß man dazu übergegangen ist [55], nicht nur Katode und Bremsgitter, sondern auch den Anschluß des Stahlkolbens von allen anderen Elektroden getrennt herauszuführen (EF 14). Darüber hinaus werden bei UKW-Röhren auch doppelte Katodenausführungen (für Gitter- und Anodenkreis) vorgesehen.

Bei modernen Endpentoden wird an Stelle des Bremsgitters ein besonderes Strahlblech verwendet. Bei der AL 5 z. B. besteht es aus einem Blechmantel (Bild 6), der nach 2 Seiten große rechteckige Ausschnitte hat, durch die der Entladungsraum begrenzt, der Elektronenstrom also gebündelt wird. Infolge der verhältnismäßig großen Abstände zwischen Schutzgitter, Bremsgitter und Anode reicht diese Anordnung zur Verhinderung des Austausches von Sekundärelektronen aus. Wegen der Begrenzung des Entladungsraumes durch das Bremsgitter verlaufen die Elektronenbahnen nahezu parallel, wodurch das Elektrodensystem der Röhre einem planparallelen Aufbau sehr nahe kommt.

Fabrikation

Die Gitter werden im allgemeinen aus dünnem Molybdändraht (Molybdän ermöglicht eine sehr genaue Formung der

[1]) Vergleiche Radio-Praktiker-Bücherei Band 3, S. 51 ff.

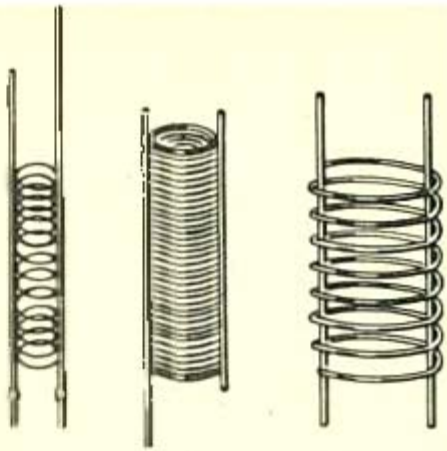


Bild 32.
Die 3 Gitter der AF 3
(Ratheiser)

Gitter) oder aus besonderen Metallegierungen hergestellt und spiralförmig um einen oder mehrere Haltestege gewickelt. Die Länge der Gitterzylinder entspricht etwa der Länge der Katode bzw. der des Heizfadens.

Gitter größerer Steigung und aus dickerem Draht lassen sich billiger und mit geringerer Streuung herstellen als engmaschige und dünndrähtige Gitter. Um die vorkommenden Größenordnungen aufzuzeigen, nennen wir die Abmessungen der AF 3 (Bild 32). Das Steuergitter a) umschließt die Katode in einem Minimumabstand von 0,3 mm, besitzt eine Drahtdicke von 60 µ und einen Wicklungsschritt von 0,33 mm, das Schirmgitter b) im Minimumabstand von 1 mm um das erste Gitter herum, mit gleicher Drahtdicke und einem Wicklungsschritt von 0,25 mm. Bremsgitter c) im Minimumabstand von mehr als 2,5 mm um das Schirmgitter herum, Drahtdicke von 120 µ, Wicklungsschritt 1,35 mm. Die Anode umschließt ungefähr in einem Abstand von 4 mm das Bremsgitter.

Um überschlägig zu ermitteln, wie genau die Maße schon eines einfachen Triodensystems innegehalten werden müssen, um die Streuung des Durchgriffs bei einer Röhrenserie auf wenige % des Sollwertes zu begrenzen, kann man sich der von *Barkhausen* [54] angegebenen Näherungsformel bedienen:

$$D = \frac{d}{2\pi h} \ln \frac{d}{2\pi c} \; ; (c < d < h) \qquad (4)$$

Hierin ist:

d = mittlerer Abstand der Gitterdrähte voneinander (Steigung bei Gitterspiralen)

h = Abstand Anode — Gitter

c = Radius der Gitterdrähte.

Wie man sieht, muß also z. B. der Abstand der Gitterwindungen größenordnungsmäßig auf 2% konstant gehalten werden, um eine Durchgriffsstreuung von 2% nicht zu überschreiten.

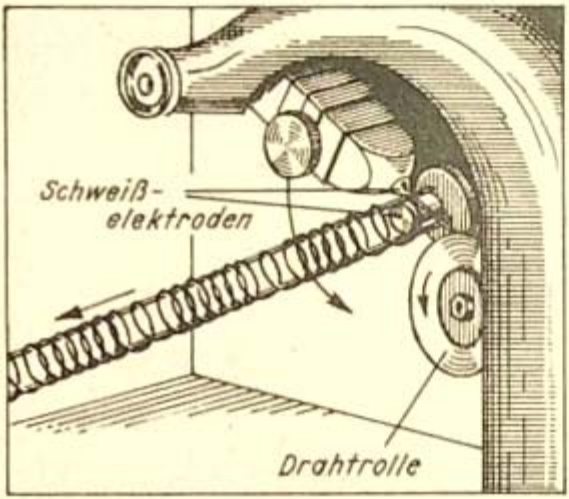


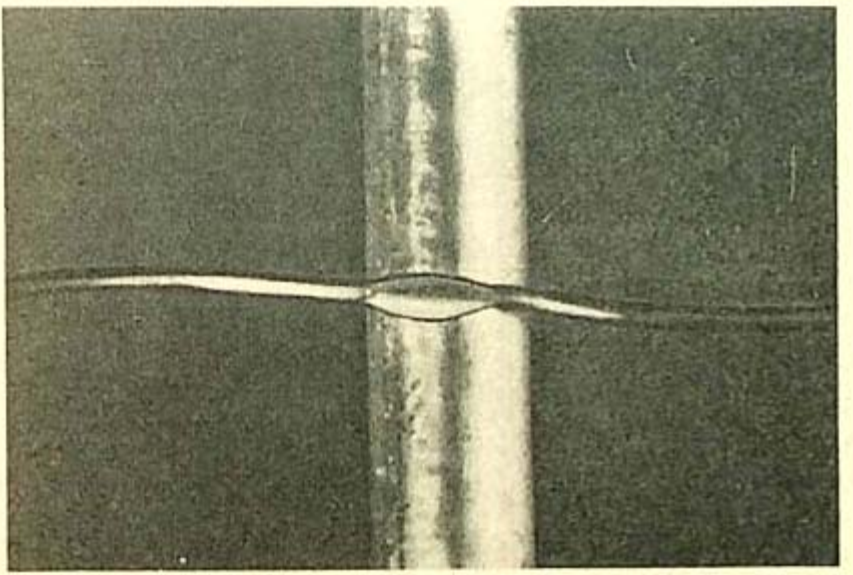
Bild 33.
Prinzip der Gitterherstellung (Ratheiser)

Bei einem Abstand der Gitterwindungen von 0,33 mm (AF 7) entsprechen 2% Toleranz einer absoluten Genauigkeit von max. 6,6 µ! Das bedeutet, daß die Gitterwickelmaschine in der Lage sein muß, die eingestellte Steigung auf ± $^{3}/_{1000}$ mm einzuhalten. Ferner muß dafür gesorgt sein, daß sich das fertig gewickelte Gitter nicht mehr verformen (z. B. aufdedern) kann. Man erreicht das, wie oben erwähnt, durch Verwendung von Molybdändraht und verschweißt das fertig gewickelte Gitter gleich auf der Wickelmaschine mit seinen Stützstäben (**Bild 33...35**). Bei einem anderen Verfahren schneidet ein vor dem Drahtablauf sitzendes Messer Kerben in die Stützdrähte, während eine nachfolgende Rolle das Stegmaterial über dem Gitterdraht zusammenplättet.

Die Länge des Gitters, d. h. die Zahl seiner Windungen, wird gleich auf der Wickelmaschine mit einer Lehre fest-

Bild 34. Festlegung der Gitterwindungszahl auf der Wickelmaschine, über dem Gitterdorn die Schweißrollenelektrode (Telefunken)

Unten:
Bild 35. Mit dem Steg verschweißter Gitterdraht, stark vergrößert (Telefunken)



gelegt, wie Bild 34 für das Steuergitter der RES 964 zeigt. Mitunter werden die Gitter auch fortlaufend auf einem Automaten gewickelt und anschließend auf richtige Länge abgeschnitten. Verschiedentlich werden sie auch in einer Lehre nachgeformt.

Die 2 Gitterstäbe, die das Steuergitter bei fast allen modernen Konstruktionen stützen, riegeln in der Röhre durch ihr negatives Potential eine ganze Teilfläche der zylindrischen Anode vom Elektronensystem ab, wie sich durch das Studium von Röhren mit Willemitanode (Leuchtschichtanode) ergab [55]. Es wurde nun untersucht, welche Steuerwirkung ein Gitter, das z. B. aus 2 runden Stäben besteht, hat. Das Ergebnis war in mancher Beziehung verwertbar. Die Hauptwirkung der Steuerstäbe besteht offenbar in einem Zusammendrücken der Elektronenbündel, welche von der Katode zur Anode gelangen. Man kann nun vor der Anode eine Hilfsanode anbringen, welche bei wenig negativen Steuerstäben einen Teil des Elektronenstromes auffängt und die bei stark negativen Steuerstäben nicht mehr von Elektronen getroffen wird. Durch günstige Formgebung dieser Hilfsanode kann dann eine in gewissen Grenzen beliebige Charakteristik des Anodenstromes in bezug auf die Vorspannung der Steuerstäbe erreicht werden. Zur Erzeugung einer größeren Steilheit hat man statt 2 auch 4 oder mehr zylindrische Steuerstäbe um die Katode herum angeordnet. Diese Systeme können zu Tetroden oder Pentoden ergänzt werden. Auch eine Exponential-Kennlinie für Regelzwecke läßt sich erreichen (s. a. [29]).

c) Anode

Die Anode hat die Aufgabe, den von der Katode emittierten und von den Gittern gesteuerten Elektronenstrom aufzufangen und in die nachfolgende Schaltung zu übertragen.

Mit der Erhöhung der Nutzleistung bei Endröhren erhöhte sich auch die Wärmeentwicklung, die neben der Katode vor allem von der Anode ausgeht. Die Erwärmung der Anode wird verursacht und bestimmt durch die Anzahl von Elektronen, die auf die Anode treffen, und durch deren Geschwindigkeit, d. h. durch den Anodenstrom und die Anodenspan-

nung. Das Produkt dieser beiden Größen, die Anodenbelastung, bestimmt zusammen mit der Wärmestrahlung der Katode den Grad der Erhitzung. Die zugeführte Wärmemenge muß durch Leitung oder Strahlung wieder abgeführt werden, wofür es verschiedene Lösungen gibt.

So ersetzt man das Anodenblech durch Drahtgaze, um dadurch die Wärmeabgabe auch der von der Anode umschlossenen und von der Katode durch Wärmestrahlung erwärmten Gitter zu erleichtern.

Bei der AL 4 ist die Anode zur besseren Vakuumhaltung und Kühlung aus geschwärztem Drahtgeflecht hergestellt. Bei der AL 5 [31], bei der 18 Watt Verlustleistung abgestrahlt werden müssen, ist die Anode ebenfalls aus geschwärztem Drahtgeflecht hergestellt und trägt vier weit ausladende Falten als Kühlflügel zur besseren Wärmeabstrahlung. Die Kühlflügel sind an den Elektroneneinfallstellen, d. h. also an den heißesten Stellen der Anode angeordnet.

Zur Erhöhung der Wärmeabstrahlung von Vollblechanoden werden diese z. B. durch Auflage dunkler Metalloxyde geschwärzt, indem eine Lösung von Eisenchlorür, Eisenchlorid und Quecksilberchlorid in Wasser auf die aus Eisen hergestellten Elektroden aufgetragen wird und durch anschließende Oxydation und teilweise Reduktion in Eisenoxyduloxyd verwandelt wird. Die Oxydation erfolgt zweckmäßig im Trockenschrank und die Reduktion durch Wasserdampf oder kochendes Wasser [56]. Den gleichen Zweck erreicht man durch eine eingebrannte Rußschicht (Karbonisieren) oder durch das Karburieren, bei dem die fertig verformten Anodenbleche einem Gasstrom ausgesetzt werden, der ihre Oberfläche in ein Karbid umwandelt. Mitunter genügt die Vergrößerung der wirksamen Anodenoberfläche durch Aufrauhen im Sandstrahlgebläse. Die beste Wärmeabgabe war jedoch bei den Cutkin-Röhren (cooled anode transmitter) die etwa 1932 in England auftauchten, zu finden, wo die Anode selbst gleichzeitig den Röhrenmantel bildete. Sie bestand [57] aus einem Kupferzylinder, der an seinem unteren Ende mit einem Glastopf verbunden war. Der Glastopf trug den Pumpstutzen und enthielt die Elektrodendurchführungen und war

als ganzes mittels eines Gummiringes, der den Kitt ersetzen sollte, in einem metallischen Sockel gehaltert. Das Isoliermaterial des Sockels, ebenso wie das Glas mit den Elektrodendurchführungen, wurden möglichst dünn gehalten, um die schädlichen Kapazitäten und Verluste herabzusetzen. Diese von *Osram-Marconi* hergestellten Röhren mit einer Gesamthöhe von nicht ganz 100 mm und einem Durchmesser von 12...15 mm wurden in vier wechselstromgeheizten Typen, und zwar einer Hochleistungsschirmgitterröhre, einer Exponentialschirmgitterröhre, einer Steilaudiontriode und einer Kraftpentode auf den Markt gebracht. Die Schirmgitterröhren hatten zusätzlich um die Anode herum einen durchlöcherten Metallmantel als Abschirmung, der oben und unten zylindrisch und in der Mitte als mehrflächiges Prisma ausgebildet war. Schirmzylinder und Anode wurden mit Isolierüberzügen als Berührungsschutz ausgestattet. Da die erzielten technischen Vorteile in keinem Verhältnis zum erhöhten Herstellungsaufwand und zu den Nachteilen (größere Kapazität, kein Verbundsystem) standen, verschwanden diese Bauformen bald wieder.

Die im Betrieb auftretenden hohen Anodentemperaturen können auch zu Verformungen der Anode führen, die den Kennlinienverlauf unerwünscht beeinflussen. Deswegen müsen für Hochleistungsröhren hochschmelzende Metalle wie Wolfram, Molybdän und Tantel genommen werden, die andererseits schwer zu verarbeiten und schon als Rohstoff teuer sind. Als Ausweg wurde vorgeschlagen [58], die Anode aus keramischen Formkörpern herzustellen, welche auf der der Katode zugewandten Seite einen Metallbelag haben. Um die Abstrahlung solcher keramischer Anoden zu verbessern, soll der keramischen Masse ein schwarzer Stoff, z. B. Graphit, beigemengt werden, wodurch auch gleichzeitig die Wärmeleitfähigkeit erhöht wird. Um außerdem die strahlende Oberfläche zu vergrößern, wird die Außenwandung der zylindrischen Anode verschieden profiliert ausgebildet. In neueren amerikanischen Röhren werden vielfach Anoden eingebaut, die ganz aus Graphit bestehen. Die bessere Wärmeabfuhr bewirkt bei höherer Leistungsaufnahme stabileres Arbeiten.

konstante Kapazitäten und geringere Neigung zu thermischer Gitteremission.

Bei den Anoden der deutschen Stahlröhren liegen die Temperaturverhältnisse insofern günstiger, als die Heizleistung geringer ist und die Temperaturverteilung durch den konstruktiven Aufbau an sich besser ist. Die hinsichtlich der abzuführenden Wärmemenge besonders diffizilen Endröhren werden bei der Stahlröhrenserie mit Glaskolben versehen, weil hierbei die Wärmeabstrahlung in größerem Maße als bei Stahlkolben nach oben erfolgt und in Endstufen die Abschirmung eine untergeordnete Rolle spielt. Dadurch [59] läßt sich der Empfänger räumlich enger bauen, da die wärmeempfindlichen Teile, wie Bandfilter und Elektrolytkondensatoren, weniger gefährdet sind. Im Gegensatz zu Hochvakuumröhren, wo die Anode möglichst „kalt" bleiben soll, ist bei gasgefüllten Röhren eine (zeitweise) starke Erhitzung der Anode vorteilhaft. Die Anode bindet nämlich im Laufe der Zeit eine gewisse Gasmenge, wodurch die Gasfüllung „schrumpft". Die gebundenen Gasatome lassen sich aber nur durch Erhitzen der Anode aus dieser wieder freimachen [60]. Ist hier die Gasaufnahmefähigkeit der Anode unerwünscht, so unterstützt sie bei Hochvakuumröhren die Getterwirkung. Besonders Tantal hat bei höheren Temperaturen Gettereigenschaften.

Mitunter findet man auch gelochte Anoden. Dabei handelt es sich um Vollblechanoden, die gelocht werden, um die Kapazität gegenüber anderen Elektroden zu verringern oder die Gasabgabe der Katode beim Formierungsprozeß zu erleichtern.

Es soll bei dieser Gelegenheit an eine Folge von langen Elektronenbahnen (Laufzeiteffekte) erinnert werden (s. Abschnitt II), die bei Regelpentoden mit Gazeanoden auftrat. Bei Vollblechanoden trat dieser Fehler nicht auf. Eine weitere Störung, die neben dem wilden Laufzeiteffekt auftrat, ist der sogenannte „Schalteffekt":

Im Innenaufbau der Rundfunkröhre gibt es viele Isolationsteile, die Isolationswiderstände von mehr als 100 MOhm aufweisen. Wenn auf solche Stellen Elektronen treffen, die die

Gazeanode passierten, können die entstandenen Ladungen nur schwer wieder verschwinden. Es kann eine Aufladung solcher Stellen zu hohen Potentialwerten stattfinden. Hierdurch entstehen elektrische Felder, die eine Steuerwirkung auf den Hauptelektronenstrom ausüben können. Dazu kommt noch die Möglichkeit, daß die genannten Isolationsstellen Sekundär-Elektronen emittieren können. Es zeigte sich, daß Rundfunkgeräte nach dem Einschalten infolge solcher Effekte manchmal stumm blieben. Daher der Name „Schalteffekt". Er äußert sich bei Leistungsverstärkern in einer Vergrößerung der Verzerrungen. Als Gegenmittel kommen in Frage: völlige Einkapselung des Hauptelektronenstromes zur Vermeidung von „Streuelektronen", Verwendung von Vollblechanoden an Stelle von Gazeanoden, Berußen der Isolationsflächen zur Verkleinerung ihrer Sekundär-Emissionsfähigkeit, Vergrößern ihrer Leitfähigkeit durch Bestreichen mit geeigneten halbleitenden Substanzen. Von diesen Maßnahmen gegen den Schalteffekt kann die Einkapselung des Systems wegen zu großer Wärmestauung oft nicht angewendet werden. Die Verwendung von Vollanoden bedeutet hier eine wesentliche Verbesserung, verhindert allerdings bei Leistungsröhren nicht, daß höhere Gittertemperaturen mit der Gefahr der Gitteremission auftreten können.

Teile der Glaswand und Isolation, welche besonders gefährdet erscheinen, wurden deshalb zur Vergrößerung der Leitfähigkeit mit einem geeigneten Halbleiter, z. B. Aquadag, einem kolloidalen Graphit, bestrichen. Bei modernen Röhren verzichtet man auf diesen Belag und bringt dafür Außenelektroden, sogenannte Elektronenfänger, mitunter auch ganze Abschirmkäfige außerhalb des eigentlichen Röhrensystems an.

Die Fabrikation der Anoden verursacht naturgemäß weit weniger Schwierigkeiten als die der Katoden und der Gitter.

Vollanoden bestehen meist aus Nickel- oder Eisenblech, wobei letzteres aus vakuumtechnischen Gesichtspunkten ungünstig ist. Sie werden mittels gewöhnlicher Stanzen als Hälften geformt und danach paarweise miteinander und mit ihren Stützstäben verschweißt.

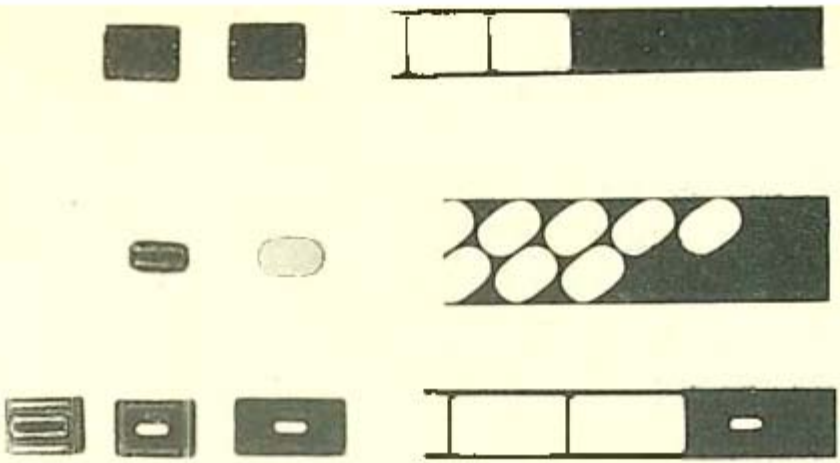


Bild 36. Herstellung der Anode der RE 134 (Telefunken)

Die Arbeitsgänge, die dabei z. B. bei der Anfertigung einer älteren Kastenanode für eine Röhre mit Bariumdestillationskatode (RE 134) aufeinanderfolgen, läßt Bild 36 erkennen. Die obere Reihe dieses Bildes zeigt von links nach rechts das Lochen, das Ausschneiden und das zur Versteifung erfolgende Prägen des unteren Anodenteils. In der mittleren Reihe ist der Werdegang des kleinen Bariumkammerdeckels zu sehen. Mit einem dritten Werkzeug werden inzwischen die Oberteile der Anoden vorgelocht, ausgeschnitten, geprägt und gebogen. Nach dem Aufpunkten des Deckels für die Bariumkammer können die Ober- und Unterteile in das Röhrensystem eingebaut und dort mit diesen und untereinander verschweißt werden. Auch die Gazeanoden werden auf Stanzen als Anodenhälften geformt, wie Bild 37 zeigt. Das Ausgangshalbfabrikat bildet dabei ein Drahtmaschengeflecht, von dessen Feinheit man einen Begriff bekommt, wenn man es (wie in Bild 38) mit einem Pfennig vergleicht.

d) Elektronenbündelung und Abschirmmaßnahmen

Elektronenbündelung:

Normalerweise kann man von den Elektronen, die von der Katode einer Röhre in Freiheit gesetzt werden, sagen, daß

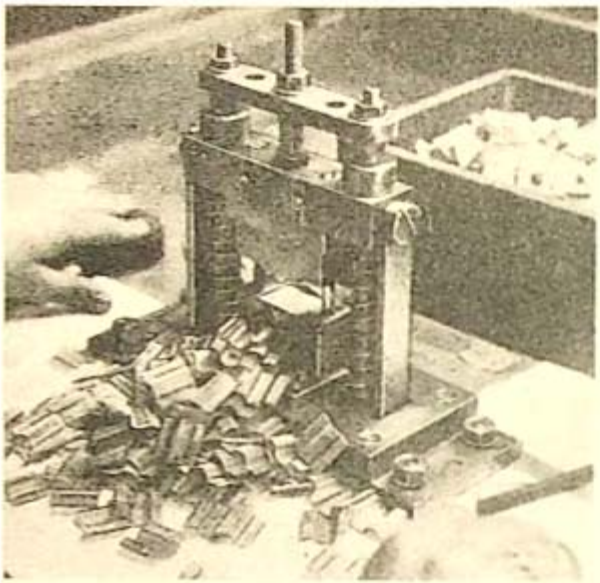


Bild 37. Formen der Maschenanoden (Telefunken)

sie von der Katode nach allen Richtungen emittiert werden. Ihr Weg zur Anode wird natürlich vom Gitter gesteuert, aber, da das Gitter spiralig um die Katodenlänge gewunden

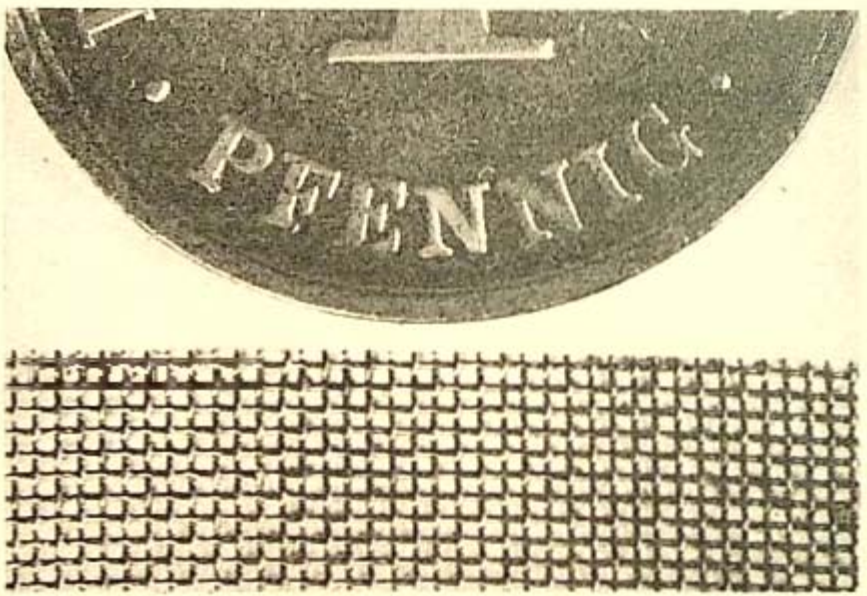


Bild 38. Maschendraht für Gazeanode im Vergleich mit einem Pfennigstück (Telefunken)

ist, übt es keinen definierten Richtwirkungseffekt aus. Die Arbeitsweise einer im Ausland entwickelten Röhrenform besteht darin, die Elektronen in einen gerichteten Strahl zu fokussieren, der dann hin und her gebeugt wird durch die zugeführte Signalspannung, so daß er die Anode voll trifft oder mehr oder weniger meidet und auf diese Weise verstärkte Signalströme im Ausgangskreis hervorruft. Die danach aufgebaute Beam Valve [61] stellt in mancher Weise schon mehr eine Katodenstrahlröhre dar, als den Standardtyp der Röhre, den wir gewohnt sind.

Einige Gründe für die Fokussierung des Elektronenstromes sind folgende:

Es ist seit langer Zeit bekannt, daß man gewisse Vorteile gewinnen würde, wenn die Anode weit genug vom Gitter weggesetzt werden könnte. Aber bei den üblichen Systemen fand man, daß die Trennung der Elektroden (abgesehen von unerwünschten Laufzeiteffekten) zu größeren Leistungsverlusten führte, als tragbar war. Und so drängt man Katode, Gitter und Anode so eng wie möglich zusammen und nahm die Nachteile der komplizierten Konstruktion in Kauf. Die Idee, die Elektronen zu fokussieren, stellt einen neuen Angriff auf das Problem dar, Gitter und Anode räumlich auseinander zu setzen. Die Empfindlichkeit der Röhre wird größer, weil ein langer Elektronenstrahl stärker durch eine gegebene Ablenkkraft beeinflußt wird, als ein kurzer. Einerseits bekommt man deswegen den Vorteil hoher Empfindlichkeit, ohne unerwünschte kapazitive Kopplung zwischen Eingangs- und Ausgangskreis und ohne Dynatroneffekt (Sekundär-Elektronen) zwischen Anode und Gitter.

Andererseits gibt es nur einen kleinen Leistungsverlust, weil alle freien Elektronen in einen engen Weg konzentriert werden. Das vermeidet die Verluste, die z. B. zwischen den Kanten eines normalen Spiralgitters und der inneren Oberfläche des Glaskolbens eintreten.

Während in England nach diesem Prinzip neue Röhren konstruiert wurden, hat man sich in Deutschland damit begnügt, das Prinzip der Elektronenbündelung nur zusätzlich

in Röhren normalen Aufbaus zur Erzielung bestimmter Effekte anzuwenden.

Es sei hier erinnert an die allgemein übliche Herabsetzung des Schirmgitterstromes durch Aufbau des Schirmgitters im Elektronenschatten des Steuergitters, an die Verwendung zweier mit dem Heizfaden verbundenen Stäbe zur Elektronenbündelung bei der DAH 50 [15], an eine ähnliche elektronenoptische Anordnung bei der älteren KDD 1 und an die ebenfalls elektronenoptisch wirkende Strahlblechanordnung der AL 5 (Bild 6).

Auch die Anwendung der Elektronenbündelung in der EK 3 zur Erzielung eines besonders kleinen Mischrauschens ist bekannt.

Die Wirkungsweise der elektronenoptischen Anordnungen kann man auf zwei Arten beobachten:

1. Durch Einlassen kleiner Gasmengen in die Röhre. Hierdurch werden zunächst die Elektronenbahnen nicht stark beeinflußt. Durch das Aufleuchten des Gases werden aber die Bahnen sichtbar und es kann festgestellt werden, daß durch die Steuerelektrode scharf begrenzte Elektronenbündel gebildet werden, die als schwach leuchtende Flecken vor der Anode sichtbar werden.

2. Man verwendet im normalen Vakuum Anoden, die mit einer geeigneten Leuchtschicht (Willemit) versehen sind. Die selbst nicht leuchtenden Elektronenbündel verursachen beim Auftreffen auf eine solche Anode scharf begrenzte, leuchtende Flecken.

Auch an sich einfache Maßnahmen können elektronenoptisch wirken. Dazu sei folgendes erwähnt:

Bei Tetroden und Pentoden nimmt der Anodenstrom mit wachsender Anodenspannung stark zu und erreicht bei einer Anodenspannung von etwa 10 % der Schirmgitterspannung seinen Sättigungswert. Es ist wünschenswert, die Anodenspannung, bei welcher die Sättigung auftritt, möglichst niedrig zu halten. Dies kann dadurch geschehen [62], daß man dafür sorgt, daß die Elektronen durch die Drähte der verschiedenen Gitter nicht zu stark abgebeugt werden. Die Abbeugung der Elektronen durch Gitterdrähte und ihr Einfluß auf die Anodenstrom-Anodenspannungs-Charakteristik von Tetroden und Pentoden wurden theoretisch und experimentell untersucht. Als Maßnahmen zur Verhinderung der Abbeugung werden genannt:

1. Geringe Steigung des Steuer- bzw. Hilfsgitters,

2. die schon erwähnte Anordnung der Schirmgitterdrähte im Elektronenschatten des Steuergitters,

3. große Steigung des Bremsgitters,

4. Anordnung des Bremsgitters in geringem Abstand von der Anode.

Die bekannteste Anwendung der Elektronenbündelung finden wir bei den Abstimmanzeigeröhren [25], die zur Sichtbarmachung der auftreffenden Elektronen eine als Leuchtschirm ausgebildete Anode besitzen (Bild 31).

Elektronenoptische Maßnahmen bedeuten eine Vereinfachung und Verbilligung der Fabrikation, wenn sie statt gitterartiger Elektroden angewendet werden.

Abschirmmaßnahmen

Um den Röhren eine einwandfreie Arbeitsweise zu ermöglichen, müssen sie gegen von außen kommende Störungen abgeschirmt werden, was besonders wichtig bei den Hf- und Mischröhren ist. Dieser Schutz ist ideal gelöst bei den Metallröhren, deren Kolben eine gute statische und magnetische Schirmung gewährleistet.

In der metallischen Abschirmung der älteren Glasröhren besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen amerikanischer und europäischer Praxis. In Amerika verwendet man besondere Metallhüllen, welche im Apparat um die Röhren gelegt werden, während in Europa ein leitender Überzug aus Metallfarbe bevorzugt wird. Der im wesentlichen aus Zink oder Kupfer bestehende Metallüberzug wird bei den deutschen Glasröhren mit der Einrichtung nach **Bild 39** auf gespritzt. Ausgangsmaterial ist der rechts im Bilde aufgespulte Zinkdraht, der durch die in der Bildmitte sichtbare Öffnung in die Spritzpistole eingeführt wird. Der fertige Metallüberzug wird noch durch eine Lackschicht geschützt und (**Bild 40**) mit einem Sockelkontakt verbunden, über den er im Gerät geerdet wird. Gleichzeitig erdet der Metallüberzug kapazitiv [63] einen fast immer vorhandenen Innenbelag, z. B. aus Graphit (**Bild 41**), der die Festsetzung von Glaswandladungen verhindern soll und durch sein definiertes Nullpotential zur Entkopplung der voneinander abgeschirmten Systemteile beiträgt. Der Vorteil der kapazitiven Erdung

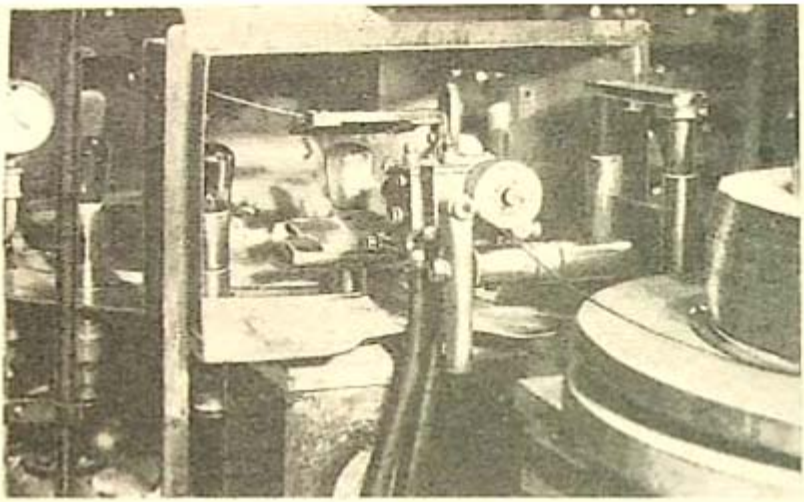


Bild 39. Aufspritzen der Außenmetallisierung (Telefunken)

dieses Innenbelages besteht darin, daß mit Sicherheit der gesamte Belag geerdet wird und daß alle Schwierigkeiten durch Übergangswiderstände und mangelhafte Kontaktgabe bei direkter Erdung vermieden werden.

Bild 40. Erdung der Metallisierung (Ratheiser)

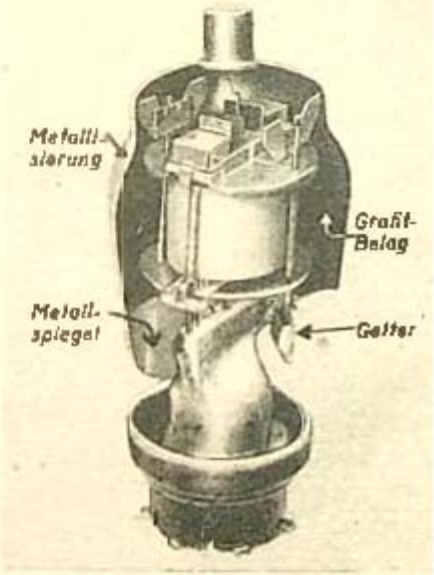


Bild 41. Anordnung des inneren Graphitbelages (Ratheiser)

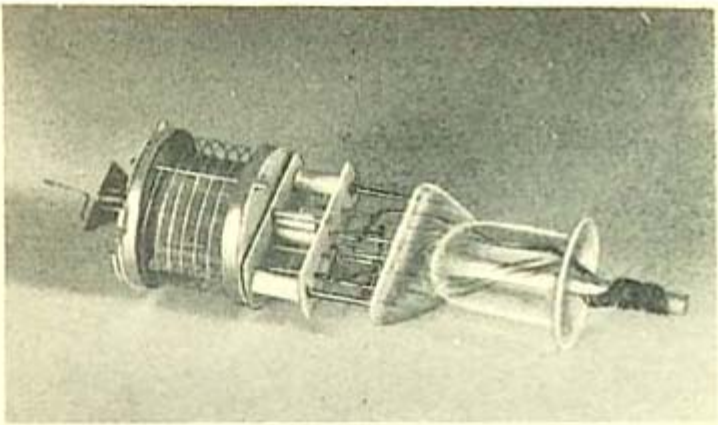


Bild 42. Abschirmung des Hexodensystem bei der ACH 1 (Telefunken)

Der einzige Nachteil der Metallisierung von Glasröhren ist die durch sie bedingte Erhöhung der Heizleistung, die größenordnungsmäßig 0,2 Watt beträgt.

Bei den Preßglasröhren schirmt man das ganze Röhrensystem durch einen Faraday'schen Käfig ab, so daß hier auf Innenbelag und Außenmetallisierung verzichtet werden kann.

Eine große Rolle spielen auch die Abschirmungen innerhalb des Systems zur einwandfreien Trennung der einzelnen Funktionen. Da ist zunächst das Schirmgitter zu nennen, dessen Wirkung im Abschnitt II, 4/5 besprochen und dessen Ausführung im Abschnitt III, 5 b behandelt wurde.

Ferner sind diejenigen Abschirmungen besonders wichtig, denen bei Verbundröhren die Trennung z. B. des Pentoden- vom Triodenteil obliegt, wie **Bild 42** an der ACH 1 und die Bilder 16, 17 und 19 bei anderen Typen erkennen lassen.

Zur Abschirmung des Streuelektronenumgriffs um die Enden der Gitterzylinder wickelt man Brems- und Schirmgitter am Anfang und Ende Windung neben Windung (Bild 30), wodurch der Elektronendurchtritt verhindert wird. Außerdem fügte man erst am oberen Ende, dann auch am unteren Ende des Elektrodensystems eine runde Abschirmscheibe ein, die mit dem Schirmgitter verbunden wurde. An Stelle der kleinen Abschirmplatten benutzte man dann z. B.

bei der letzten Serie der RENS 1284 und 1294 große, mit einem Rand versehene Abschirmteller, die außen durch eine lockere Gitterspirale verbunden werden (**Bild 42**), eine Art äußeres Bremsgitter, das nicht nur den Umgriff beseitigt und so eine kleinste Gitteranodenkapazität gewährleistet, sondern auch den Elektronendurchtritt und damit Wandladungen des Röhrenkolbens verhindert.

Besonders einfach und sauber lassen sich die Abschirmungen der Systemteile bei den Stahlröhren durchführen. Ein Musterbeispiel hierfür ist die ECH 11, deren Aufbau Bild 16 zeigte.

e) Systemzusammenbau

Allgemeines

Nach Vorbereitung aller Einzelteile folgt innerhalb des Fabrikationsablaufes (vgl. Abschnitt III, 1) der Zusammenbau der Röhrensysteme.

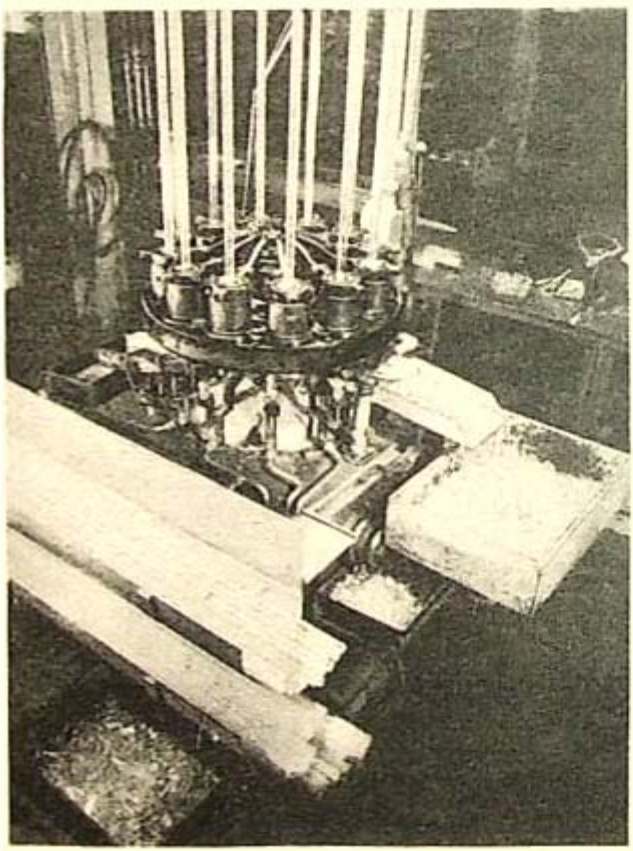


Bild 43. Rohrabschneidemaschine für Quetschfußröhren (Philips-Valvo/ Kleinhempel)

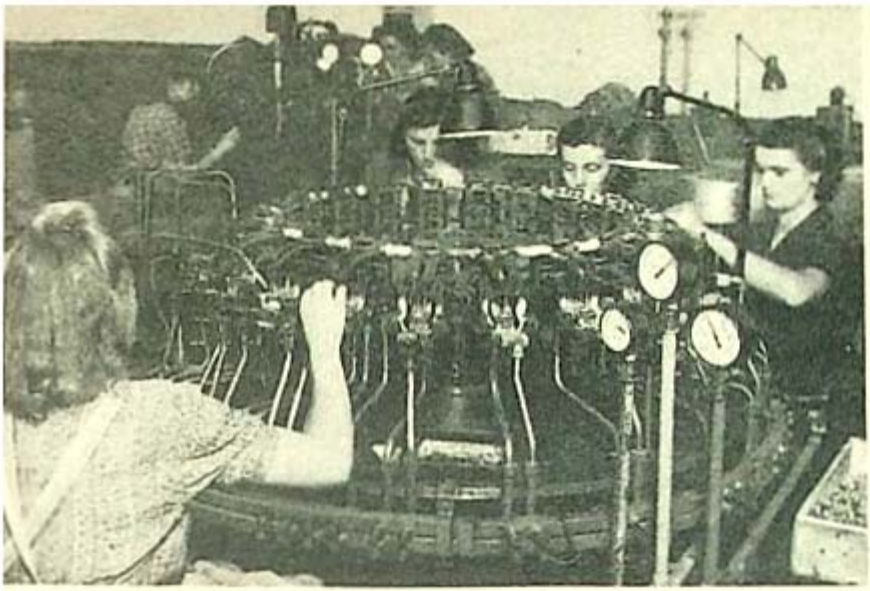


Bild 44. Automat zur Herstellung der Quetschfüße (Telefunken)

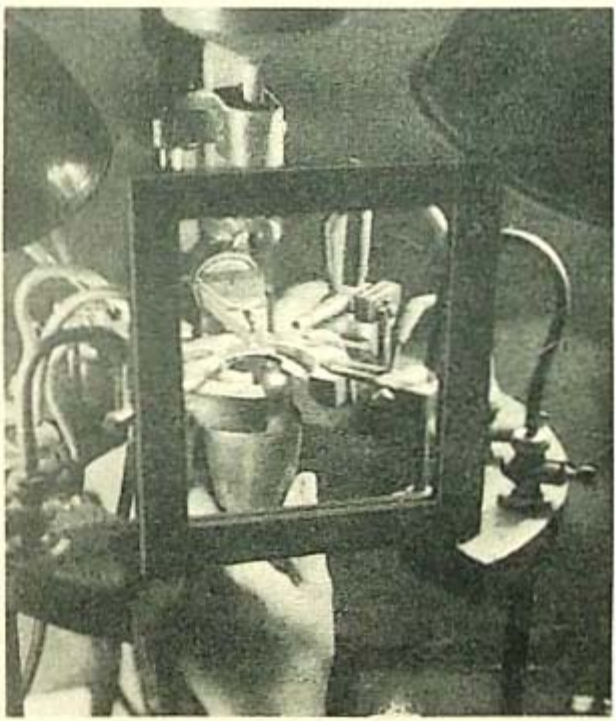


Bild 45. Anstengelmaschine (Philips-Valvo/ Kleinhempel)

Bild 46. Zusammenbau der Röhrensysteme. Jeder Arbeitsplatz hat eine kleine Punktschweißmaschine (Telefunken)

Die Fertigung der Quetschfußrohre (**Bild 43, 44**), das Einsetzen (Anstengeln) von Bleiglasröhrchen für Elektrodendurchführungen im Kolben (**Bild 45**), ferner das Einsetzen der Pumpröhrchen sind ausgesprochene Automatenarbeit [64, 65 u. a.] (das setzt übrigens voraus, daß die Wandstärke der angelieferten Kolben auf ± 0,2 mm, ihre Außendurchmesser auf ± 0,5 mm genau eingehalten werden). Die darauf folgende Systemmontage aber erfolgt durchweg in Handarbeit (**Bild 13 und 46**).

Zum Zusammensetzen der vorgeprüften Einzelteile werden Montagelehren und isolierte Brücken benötigt, die höchste Anforderungen an feinmechanische Präzision stellen. Denn

Bild 47. Beispiel für Systemabmessungen (AF 7). a = Anode, b = Bremsgitter, c = Schirmgitter, d = Steuergitter, e = Katode (Ratheiser)

Bild 48. Quetschfuß (Ratheiser)

die Elektrodenabstände (siehe **Bild 47**) müssen aus bereits besprochenen Gründen auf $^1/_{100}$ mm genau eingehalten werden. Die Elektroden werden mit ihren Trägern und diese mit den Elektrodendurchführungen und Stützdrähten des Quetschfußes oder Preßteller (**Bild 48**) durch elektrische Punktschweißung verbunden (**Bild 49**). Dies ist die sicherste Methode in elektrischer, thermischer und mechanischer Hinsicht zur Verbindung von Drähten und Blechen aus Nickel, Kupfer, Molybdän, Wolfram, Tantal und Platin. Da sich aber z. B. Tantal und Tantal und Molybdän mit Molybdän schlecht verschweißen lassen, legt man bei Verwendung dieser Metalle ein dünnes Nickelblättchen zwischen die zu verschweißenden Flächen, wodurch der Schweißvorgang glatt abläuft [66].

Für die genaue Einhaltung der Elektrodenabstände sorgen Keramik- oder Glimmerbrücken gemäß **Bild 50**, wobei zur Sicherung des besonders kleinen und kritischen Gitter-Katodenabstandes oft ein besonderes Glimmerblättchen nach **Bild 51** benutzt wird. Die bei älteren Röhren viel benutzte

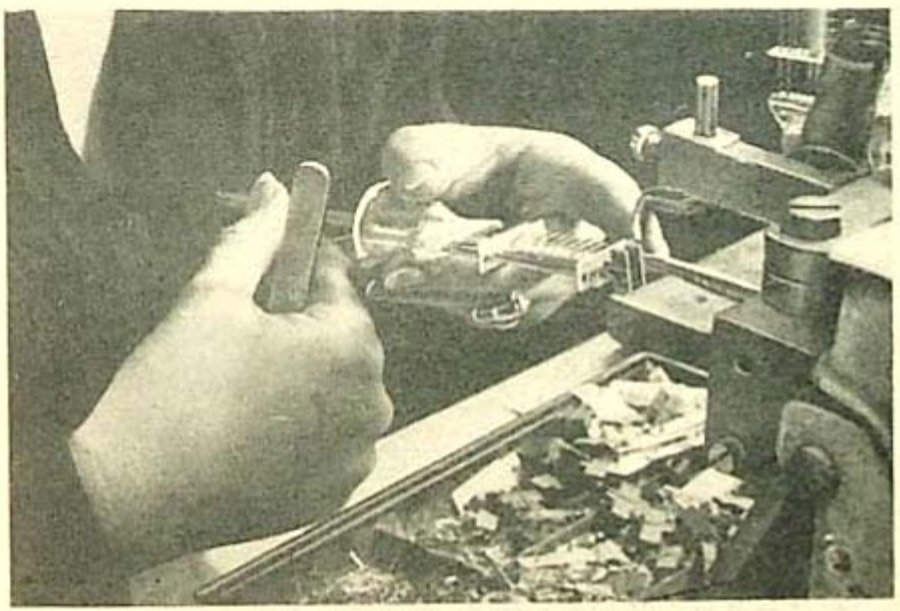


Bild 49. Schweißvorgang bei der Systemmontage (Philips-Valvo/Kleinhempel)

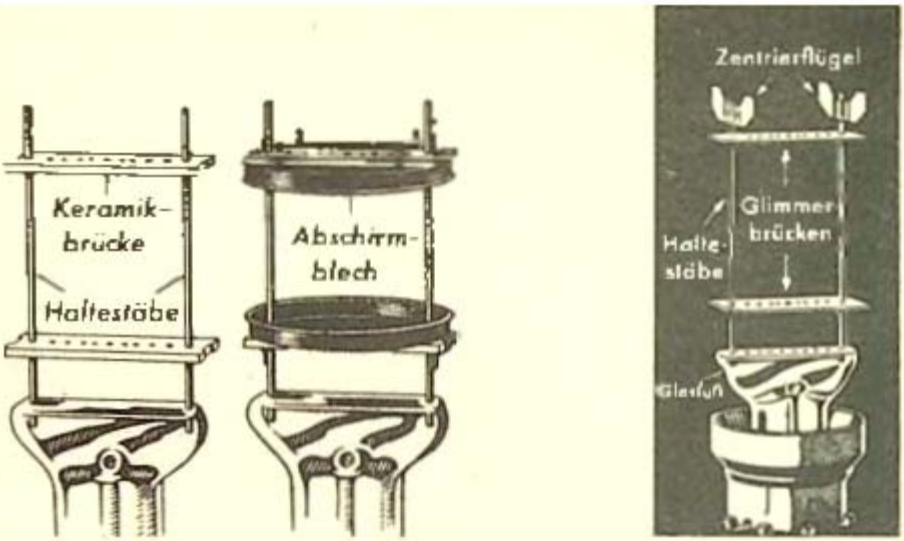


Bild 50. Systemaufbau mit Keramik- oder Glimmerbrücken (Ratheiser)

Glasbrücke bewährte sich nicht, weil sie Verluste und Kapazitätserhöhungen brachte und die Klingneigung nicht unterbinden konnte. Deswegen nahm man neben Glimmer keramische Isolierteile zur Abstützung, die gleichzeitig eine wesentlich höhere Maßgenauigkeit ermöglichten und das System mechanisch stabilisierten. Diese haben jedoch den Nachteil, daß sie Sekundärelektronen abgeben, sobald sie

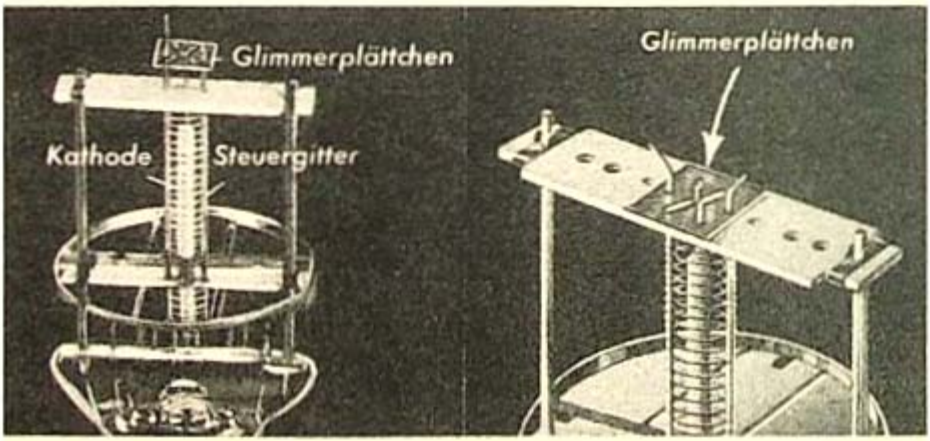


Bild 51. Sicherung des Gitter-Katodenabstandes (Ratheiser)

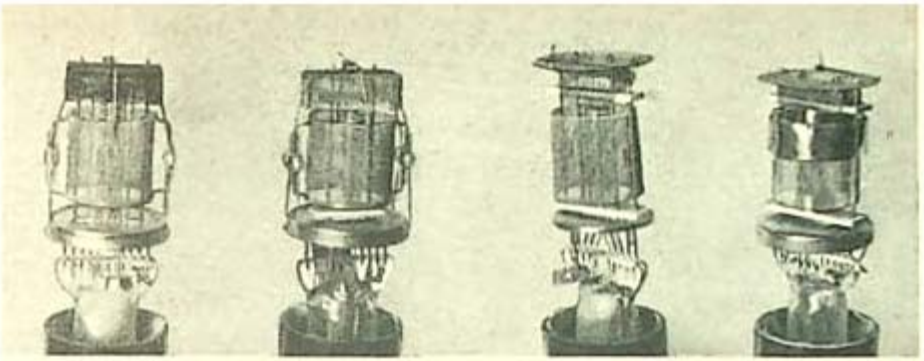


Bild 52. Von links nach rechts: 1) Ausgangsmodell; 2) Zur Behebung der Klingneigung wurden die Elektroden in Keramikbrücken gehaltert; 3) Vervollkommnung der Keramikhalterung. Wegfall der Glasstützen und Anbringung einer Glimmerscheibe, die das System im Kolben hält; 4) Endgültige Ausführung mit verringerter Klingneigung und verkleinerter Streuung der Gitteranodenkapazität (Telefunken)

von anderen Elektronen getroffen werden und als nunmehr elektronenarme, d. h. positiv geladene Körper wiederum neue Elektronen anziehen, wodurch die Arbeitsweise der Röhre erheblich gestört werden kann. Man schirmte daher die Keramikisolatoren durch Metallbleche und gegen Elektronenbeschuß ab.

Bei den erstmals mit keramischen Halteteilen aufgebauten Systemen erhielt man eine kleinere Ausgangskapazität, was für neue Entwicklungen zweifellos von Vorteil war. Zur Einführung in eine laufende Fabrikation jedoch hätte dies eine Änderung der elektrischen Daten des Systems bewirkt, weswegen man z. B. bei einer neuen Serie der RENS 1284 mit Keramikstützen eine Zusatzkapazität in Form eines um die Anode angeordneten Blechringes anbrachte **(Bild 52)**. Nachdem man zuerst Glimmerscheiben benutzte, um das System im Kolben abzustützen, setzte man auch Glimmerbrücken statt der Keramikteile ein. Als Ausgangsmaterial wird meist ein rötlicher Kaliglimmer (Muskowit) genommen.

Bei der Abstützung des Röhrensystems durch Glimmerplatten im Röhrenkolben ist das Einfädeln der verschiedenen Elektroden in die kleinen konischen Öffnungen der Glimmerscheibe ein schwieriger und teurer Arbeitsgang. Die RCA vermied zuerst diese Schwierigkeit, indem sie die

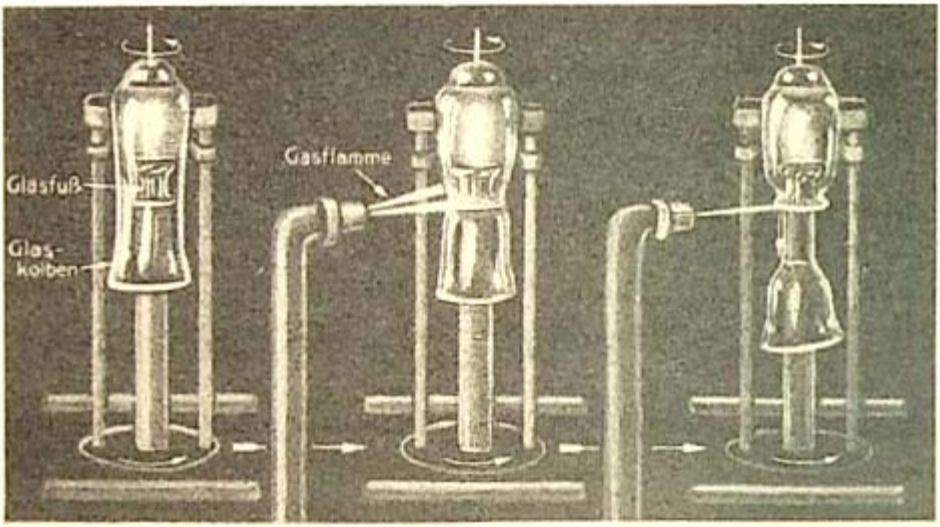


Bild 53. Verschmelzen von Glasfuß und Kolben bei der Quetschfußröhre (Ratheiser)

Glimmerscheibe in zwei sich überlappende Teile aufteilte, die kammartig angeordnete Kerben zur Aufnahme der Haltestreben aufwiesen und diese nach dem Zusammenlegen die Haltestreben unverrückbar festhielten. Die beiden überlappenden Glimmerteile bildeten gemeinsam eine runde Scheibe, die für punktweise Anlage an den Glaskolben mit einem gezähnten Rand ausgeführt wird. Bei diesem Verfahren genügt es, wenn nur eine Halbscheibe Kerben besitzt, während die andere eine gerade Kante hat, die sich nach dem Zusammenlegen der Scheiben gegen die in den Kerben liegenden Elektrodenstützen legt.

In Deutschland übliche Lösungen zur Abstützung des Systems im Glaskolben sind z. B. in den Bildern 19, 30, 31, 42 gut erkennbar.

Die fertig montierten Systemfüße werden dann mit den Kolben zusammengesetzt. Bei den Glasröhren werden sie auf einem Automaten miteinander verschmolzen (Bild 53), wobei man bei Preßglasröhren, wie erwähnt, ein besonderes Lötglas benutzt. Auch wird hierbei das System mit einem Schutzgas umspült, das die Oxydation während der Erhitzung verhindert.

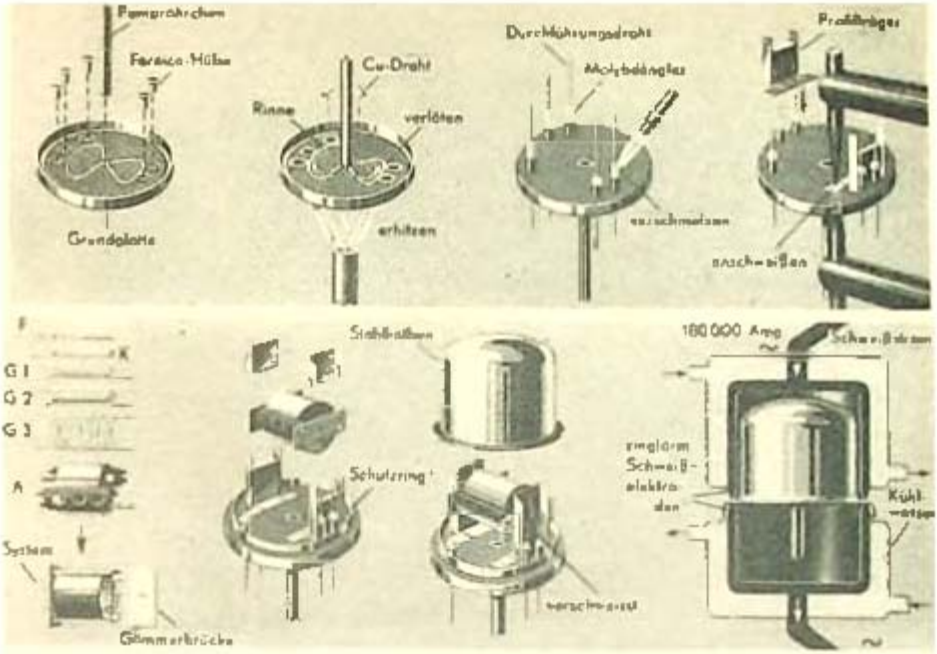


Bild 54. Ausschnitte aus der Stahlröhrenherstellung (Telefunken)

Besondere Schwierigkeiten gibt es bei Röhrensystemen, die ohne jede Abstützung durch in einer Ebene liegende Elektrodenzuführungen gehalten werden.

Bei der Herstellung von Eichelröhren (z. B. RCA 955 u. a.) wird der Glaskörper aus zwei Hälften zusammengesetzt, deren gemeinsamer Ringflansch die Elektrodenzuführungen hält. Wegen der Kleinheit der Röhren ist es sehr schwierig, mit hergebrachten Methoden einen exakten Aufbau des Elektrodensystems und die richtige Einschmelzung der in horizontaler Ebene radial verlaufenden Elektroden durchzuführen. Die Radio Corporation of America montiert daher zunächst das Elektrodensystem zwischen zwei den Glaskörperhälften nachgebildeten Isolierscheiben [67]. Die radial nach außen gerichteten Zuführungsdrähte werden an der oberen Isolierscheibe befestigt und enden an einem Drahtring. Das so montierte System wird in den kopfförmigen Glaskörper eingehängt, worauf die untere Kalotte aufgeschmolzen wird und der Ringflansch die nunmehr exakt in

seiner Mitte liegenden Durchführungen hält. Dann wird der umgebende Drahtring von den Elektrodenzuführungen abgeschnitten, worauf die Röhre ausgepumpt werden kann.

Besonderheiten bei Stahlröhren

Die Stahlröhren sind hinsichtlich ihres Systemaufbaues in jeder Beziehung anders gestaltet als die Glasröhren. Sie bringen daher manche Erleichterung in der Fabrikation. So entfallen die Systemabstützung im Kolben, die Kühlflügel und die unzuverlässige Gitterkappe.

Der Quetschfuß als vakuumdichter Isolator ist bei den Stahlröhren durch die Fernico-Hülsen mit Glasperlen ersetzt, während die Aufgabe, das System zu tragen, von den starren mit der Grundplatte fest verschweißten Profilträgern in Verbindung mit den an sich schon als Abstandslehren notwendigen Glimmerbrücken übernommen wird.

Bild 54 zeigt Ausschnitte aus der Stahlröhrenfabrikation. Wie man sieht, werden zuerst in die gestanzte Grundplatte das Pumpröhrchen und die Fernico (*Ferrum-Nickel-Cobalt*)-Hülsen, die den gleichen Ausdehnungskoeffizienten wie die Glasperle besitzen, eingelötet. In die Fernico-Hülsen werden dann kleine Molybdänglasröhrchen mit den Durchführungsdrähten gesetzt, die im darauffolgenden Arbeitsgang mit dem Glas und der Hülse verschmolzen werden.

Danach folgt das Aufpunkten der Profilträger auf die Grundplatte. Dann wird das von Hand (Bild 13) zusammengebaute System eingesetzt. Bei Batterieröhren wird als letzter Arbeitsgang der empfindliche Heizfaden eigefädelt **(Bild 55)**. Anschließend wird die Metallhaube aufgeschweißt.

Um dabei Deformationen und Strukturänderungen zu vermeiden, wird der Schweißvorgang möglichst weitgehend abgekürzt. Man arbeitet deswegen mit sehr kurzen Schweißzeiten (1/400 Sek.) und außerordentlich hohen Schweißstromstärken (180 000 A). Bei Miniwatt-Schlüsselröhren in Metallausführung werden dabei ½...25 Perioden lange Stromstöße von 1 000 kVA verwendet, wobei der Druck, mit dem Teller und Haube zusammengepreßt werden, zwischen 100 und 9 700 kg liegt [26].

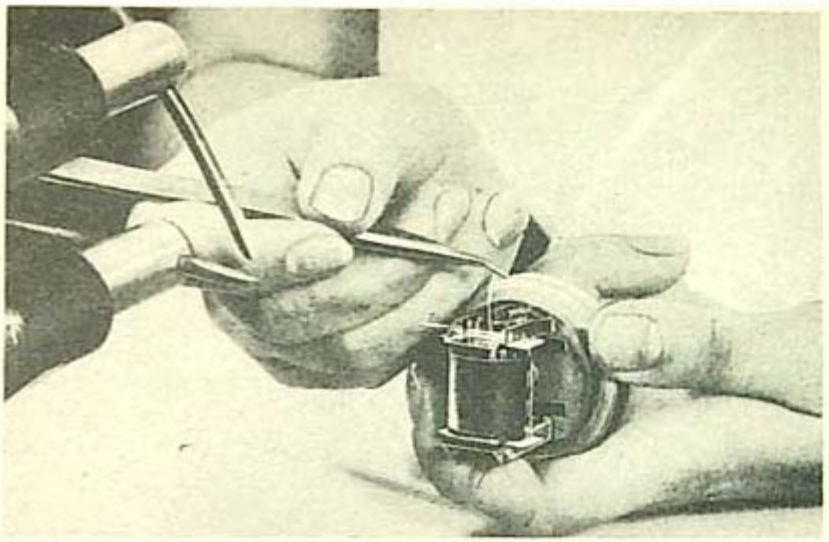


Bild 55. Einfädeln des Heizfadens in das Stahlröhrensystem (Telefunken)

Eine Grundschwierigkeit der Stahlröhrenherstellung bestand darin, daß die Metallhaube selbst nicht so vakuumdicht ist wie ein Glaskolben, weshalb in dem Huth'schen Patent [22] ein zusätzlicher Emailleüberzug vorgeschlagen wurde. Bei den Stahlröhren ist es nun aber auch auf anderem Wege gelungen, die Diffusion leichter Gase wie Wasserstoff durch den Stahlkolben zu vermeiden.

f) Vakuum und Getter

Hochvakuumröhren:

Hochvakuum bedeutet praktisch Luftleere. Die Elektronen müssen den Weg zur Anode ungehindert durchlaufen können, denn Gasmoleküle im Elektronenweg würden in Elektronen und Ionen gespalten werden (Ionisierung), was als unregelmäßig ablaufender Vorgang unbedingt zu vermeiden ist. Überdies sind die Ionen schwerer und bedingen deswegen unerwünschte Laufzeiteffekte bei Hochfrequenz. Auch das höchste erzielbare Vakuum ist noch nicht gasfrei, jedoch ist der Einfluß der verdünnten Gasreste bedeutungslos. Ein gutes Vakuum muß einen Restdruck von weniger als 10^{-5} mm Hg haben. Lange Zeit hat die Erreichung dieser Bedingung

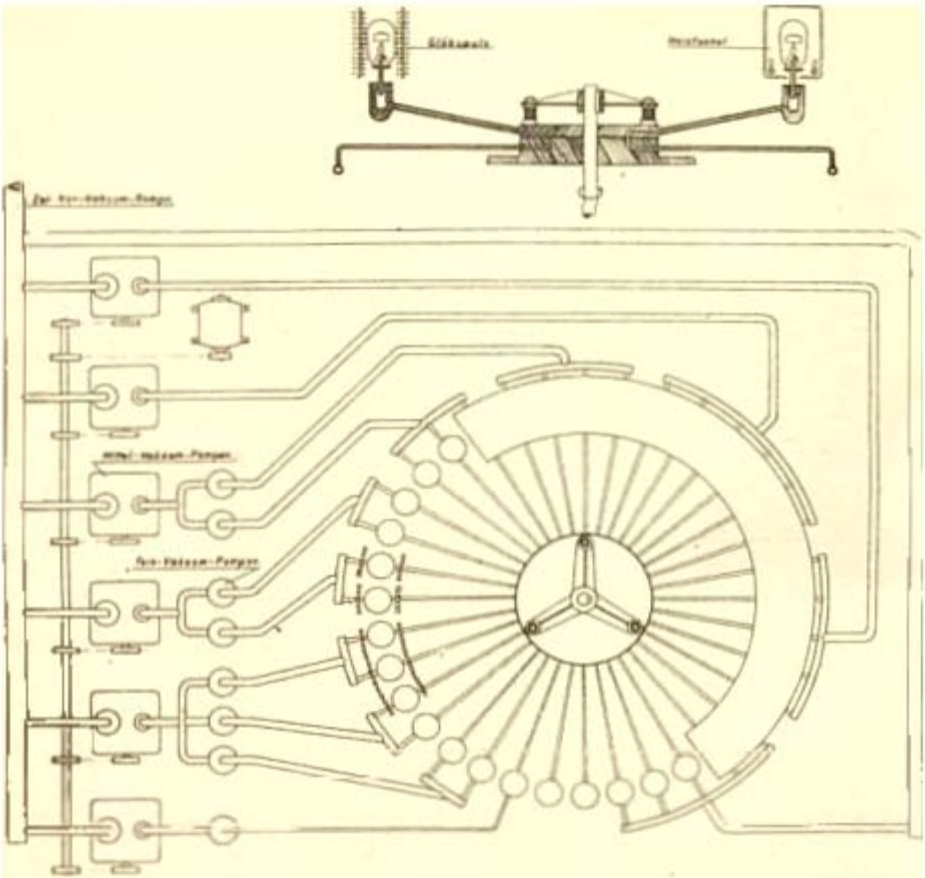


Bild 56a. Schematische Skizze eines Pumpautomaten (Telefunken)

erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Die Einführung der Quecksilberstrahlpumpen [68] und die Erarbeitung besonderer Verfahren erschlossen den heutigen hohen Stand der Hochvakuumtechnik.

Die Röhre durchläuft auf dem Pumpautomaten (**Bild 56**) etwa folgende Stationen:

1. Vorvakuumpumpe
2. elektrischer Ofen (Erhitzung des Glases bis kurz vor Erweichung zwecks Entgasung, dabei Vorentgasung der Metallteile, **Bild 57**)
3. Mittelvakuumpumpen
4. Feinvakuumpumpen

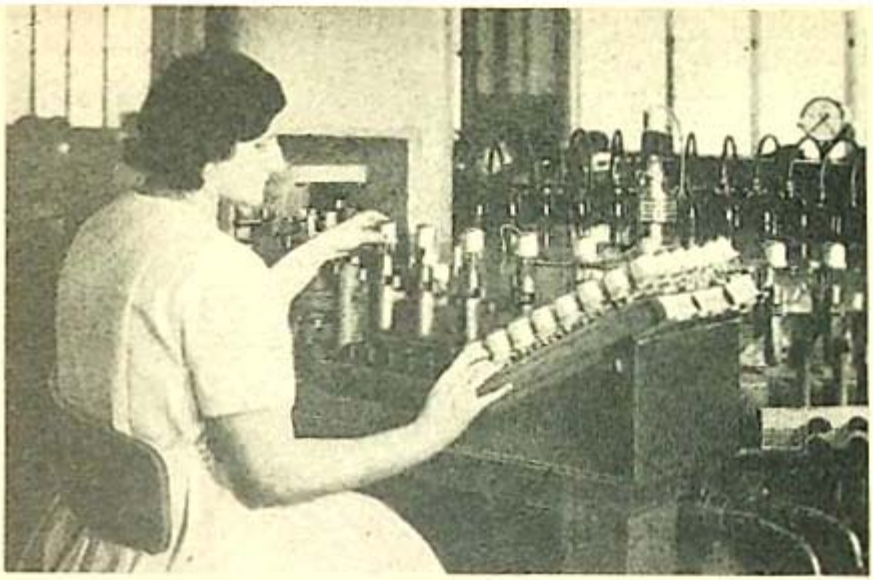


Bild 56 b. Pumpautomat für Stahlröhren (Telefunken)

Bild 52. Pumpautomat für Quetschfußröhren, Teilansicht: Ausgang des Heiztunnels (Telefunken)

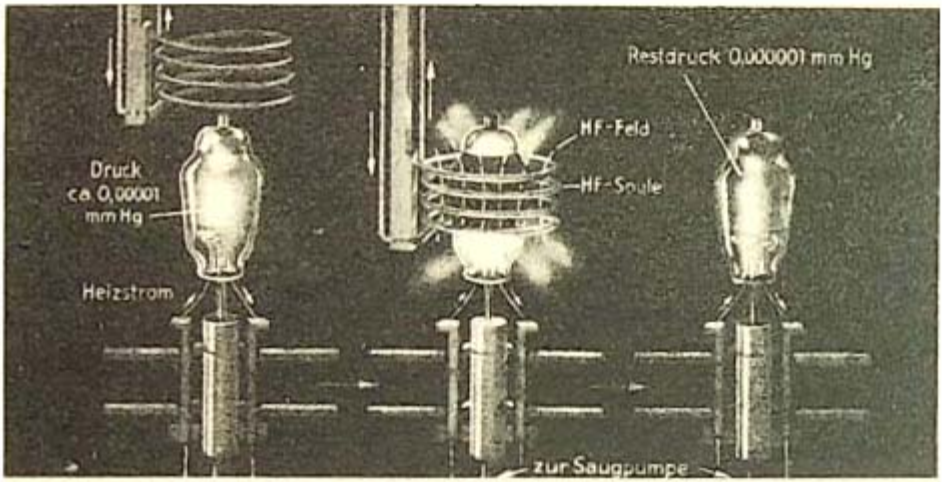


Bild 58. Entgasen der Röhren durch Wirbelstromerhitzung (Ratheiser)

5. Glühen der Metallteile durch Wirbelstromerhitzung (Entgasung, **Bild 58**)
6. Aktivieren der Katode
7. Verdampfung des Getters durch Wirbelstromerhitzung seines Trägers
8. Abschmelzen

Dieser Pumpprozeß ist so weit automatisiert, daß die Röhre nur von Hand auf einen Gummischlauch aufgesetzt und die Heizdrähte an eine Stromquelle angeschlossen zu werden brauchen. Automatisch wandert dann die Röhre durch den Heizofen **(Bild 56)** und an den verschiedenen Pumpen vorbei. Ist das höchste Pumpenvakuum erreicht (10^{-5} mm Hg), so erfolgt die Wirbelstromerhitzung und Entgasung der Elektroden, bis der Restdruck auf 10^{-6} mm Hg gesunken ist. Nach Abschluß des Pumpverfahrens wird der Pumpstutzen durch eine kleine Flamme erwärmt, bis der äußere Luftdruck das weichgewordene Glas zusammendrückt. Dann wird die Röhre von dem Pumpstengel abgezogen und nach der elektrischen Vorprüfung gesockelt. Bei Stahlröhren verläuft dieser Prozeß sinngemäß, nur daß hier, statt der Wirbelstromerhitzung, mit Flammen und gleichzeitiger Kühlung der nicht zu erhitzenden Teile gearbeitet wird **(Bild 59)**.

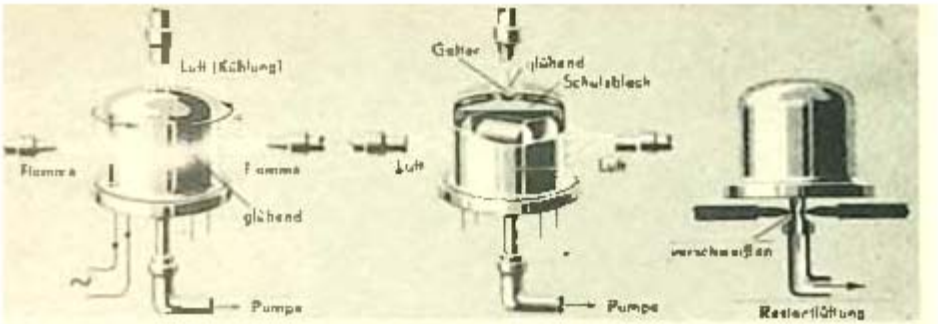


Bild 59. Ausschnitte aus der Stahlröhrenfabrikation: Arbeitsgänge auf dem Pumpautomaten (Telefunken)

Entgasung

Die wesentliche Schwierigkeit bei der Röhrenherstellung liegt nicht in der Erzielung eines hohen Vakuums, sondern in der einwandfreien Entgasung der Systemeinzelteile. Allgemein ist bekannt, daß die Metallteile durch Wirbelstromerhitzung im Hf-Feld ausgeglüht und damit entgast werden. Aber auch die Glasteile müssen einwandfrei entgast sein. Glas zieht verschiedene Gase, namentlich Wasserdampf, in beträchtlicher Menge an und hält sie fest. Da schon geringe Spuren von Wasserdampf den Heizfaden stark angreifen und sich die Wasserdampfhaut, die das Glas trägt, nur mit Hitze entfernen läßt, werden die Röhren deshalb während des Auspumpens so stark erhitzt (meist etwa 400° C), wie es möglich ist, ohne daß das Glas weich wird. Auch die Heizfäden bzw. Katoden enthalten Gase, zu deren Entfernung sie während des Auspumpens elektrisch geheizt werden. Die anderen Elektroden müssen natürlich ebenfalls entgast werden und werden dazu entweder unter Anlegen hoher Spannung durch Elektronenbombardement oder aber — wie schon gesagt — durch Wirbelstrom erhitzt.

Um eine besonders gute Entgasung zu erzielen, kann man während des Pumpens an die Röhre kurzzeitig (10^{-5}... 10^{-8} sec) Stoßspannungen anlegen [69].

Bei der Röhrenkonstruktion kommt es darauf an, daß der eigentliche Vakuumraum im Verhältnis zu dem von den Elektroden eingenommenen Raum verhältnismäßig groß ist.

Dadurch wird die Vakuumsicherheit erhöht. Wenn nämlich während des Betriebes von den Elektroden noch Gasreste abgegeben werden, die das Getter nicht mehr binden kann, verschlechtert sich bei einem großen Vakuumanteil der Absolutwert des Vakuums nur unwesentlich. Die Form des Stahlröhrenkolbens ist so gewählt, daß das Verhältnis Vakuumvolumen: Kolbenoberfläche ein Maximum ist.

Im letzten Stadium des Pumpverfahrens wird das *Getter* verdampft (Bild 59). Ihm liegt folgender Gedanke zugrunde: Beim Verdampfen kleiner Metallmengen (Magnesium oder Barium) und bei deren Kondensation an der Innenfläche des Glaskolbens findet eine Bindung von Gasresten statt. Ein solcher Niederschlag ist nicht nur in der Lage, den Pumpprozeß um mehrere Stunden zu verkürzen, sondern er vermag auch noch beim Betrieb der Röhre freiwerdende Gase zu binden und somit das Vakuum stets gasfrei zu halten. Mit der Einführung der thorierten Wolfram-Katode wurde das Getter zur Bedingung. Thorium ist nämlich bestrebt, Gasreste anzulagern, wodurch das gleichmäßige Arbeiten der Katode gefährdet wäre. Erstmalig wurden Getter verwendet bei der RE 064, Valvo-Ökonom und bei der Löwe-Mehrfach-Röhre.

Grundsätzlich kann man unterscheiden zwischen Getterstoffen, die erst während des Pumpens aktiviert werden können (z. B. Barium-Getter) und solchen, die bei Raumtemperatur unwirksam, also nicht luftempfindlich sind und deshalb gleich im endgültigen Zustand eingebaut werden (z. B. Barium-Magnesium- oder Kemet-Getter, ferner Zirkon- oder Thorium-Getter). Bei den ersteren wird z. B. metallisches Barium, das sich bei Luftzutritt sofort in Bariumkarbonat verwandeln würde, in Eisen- oder Nickelröhrchen geschmolzen (und bis zum Einbau unter Öl aufbewahrt), aus denen es erst im Vakuum durch Wirbelstromerhitzung verdampft wird. Man könnte hier ebenso gut Getter mit Thermitreaktion ($3\,BaO + 2\,Al = Al_2O_3 + 3\,Ba$) verwenden, wenn die dazu erforderliche Umwandlungstemperatur nicht zu hoch (1000° C) läge. Zirkon-Getter werden vorzugsweise für höhere Betriebstemperaturen (Senderöhren) eingebaut. Hier zeigt

schon ein Anodenbelag aus Zirkonpulver bei Betriebstemperaturen über 500° C eine merkliche Getterwirkung. (Zirkonüberzüge sind übrigens als Gitterbelag zur Verringerung der Sekundärmission geeignet.) Neuerdings werden Zirkongetter auch in Oxyd-Katodenröhren für Dezimeterzwecke verwendet, weil hier metallische Bariumspiegel stark dämpfend wirken. Praktisch kommen allerdings für übliche Radiozwecke meist nur Barium- oder Magnesium-Getter in Frage. Das Getter der AC 2 besteht z. B. aus Barium in einem Nickelröhrchen. Die sonst noch anzutreffenden Getterstoffe, wie Ceto-Getter (Cer + Thorium) verdanken ihr Dasein meist gewissen Patentrücksichten.

Im Röhrenkolben wird an einer geeigneten Stelle ein kleiner Blechbehälter, in welchem sich der Getterstoff befindet, so angebracht, daß sich beim Verdampfen kein Gettermaterial auf Isolationsteilen oder innerhalb des Systems festsetzen kann. Im letzten Stadium des Pumpens wird es durch hochfrequente Wirbelströme — bei Stahlröhren durch eine Flamme — erhitzt, bis es verdampft und sich auf die gegenüberliegende Kolbenwand niederschlägt. Dieser Niederschlag bildet die bekannte innere „Verspiegelung". Bei älteren Röhren ist die Magnesiumverspiegelung ein Kennzeichen für thorierte Katoden, während ein brauner glänzender Belag auf eine Bariumdestillationskatode hindeutet. Um bestimmte Stellen der Glaswandung frei von der Verspiegelung zu halten, kann man [70] die Metallionen des verdampfenden Getterstoffes durch eine oder mehrere geladene Hilfs-Elektroden so steuern, daß die gewünschten Wandstellen frei bleiben.

Man versucht, das Gettern zeitlich möglichst weit hinauszuschieben, um bei der Erhitzung des Röhrensystems noch möglichst viel restliche Gasatome vor der Verdampfung des Getters absaugen zu können. Deswegen werden die Getterstoffe oft an besonderen Metallstielen angebracht, die eine Verzögerung der Verdampfung entsprechend ihrer Wärmeleitfähigkeit bewirken. Da beim Formieren der Katode wieder Gas von den Elektroden abgegeben wird, wurde die Verdampfung zweier Getter vorgeschlagen [71]: 1. Magne-

sium, 2. Barium. Aus dem gleichen Grunde wurde vorgeschlagen [72], an der Anode der bereits abgeschmolzenen Röhre noch einen Rest der Gettersubstanz zu belassen, der erst während des Formier- bzw. Einbrenn-Prozesses der Katode durch erneuets Glühen der Anode verdampft wird.

Es wird oft nach der Ursache des „Karbid"geruches beim Zerschlagen von Röhrensystemen gefragt, daher noch kurz folgende Erläuterung:

Wenn eine Röhre mit Magnesiumgetter geöffnet wird, so verbindet sich unter dem Einfluß des hohen Druckimpulses das noch freie Magnesium mit dem Sauerstoff der Luft zu Magnesiumoxyd und mit dem Stickstoff zu Magnesiumnitrid ($M_{g_3} N_2$). Beide zerfallen in grünlich-weiße Pulver. Man kann gut beobachten, daß der silberglänzende Getterbelag augenblicklich schneeweiß wird oder zu einem weißen Pulver zerfällt, wobei auch die Bildung von Magnesiumsubkarbonat eine Rolle spielt. Daneben aber verbindet sich das Magnesiummetall auch mit der stets in geringen Mengen vorhandenen Kohlensäure der Luft. Es entsteht hierbei Magnesiumoxyd, Magnesiumhydroxyd und Azetylen, entsprechend

$$5\,Mg + 2\,H_2\,C\,O_3 = 4\,Mg\,O + M_g\,(O\,H)_2 + C_2\,H_2.$$

Das frei werdende Azetylen macht sich besonders bei Verunreinigung durch Spuren von Phosphorwasserstoff durch den charakteristischen Karbidgeruch bemerkbar.

Gasgefüllte Röhren

Die erste gasgefüllte Röhre war die Liebenröhre. Es folgten die Spamerschen Hydritkatoden, die unter niedrigem Druck bei geringem Wasserstoffgehalt arbeiteten. Auch die eine der unter II, 3. beschriebenen Arcotron-Röhren hatte eine Gasfüllung. Abgesehen von der unter II, 1. erwähnten Nullode wurden auch in neuerer Zeit wieder mit Gas (Quecksilberdampf) gefüllte Trioden gebaut. Ihre Vorteile werden in einer höheren Steilheit, als sie sich mit Hochvakuumröhren erzielen läßt, gesucht. Die erreichbare Steilheit liegt über 10 mA/Volt. Ihre Nachteile sind: labile Arbeitsweise, stärkeres Rauschen, starke Frequenzabhängigkeit (Laufzeit der langsameren Ionen, bei einer Philips-Ausführung durch einen technischen Kniff sehr gemildert). Daher sind gasgefüllte Röhren im allgemeinen für Empfangszwecke ungeeignet. In der Praxis haben sich gasgefüllte Trioden als Senderöhren und als sogenannte Stromtore zur Erzeugung von Kippschwingungen und für elektronische Steuergeräte (Relais) eingeführt.

g) Sockelung

Forderung bei jedem Sockel ist eine irgendwie unsymmetrische Anordnung der Stifte oder Kontakte bzw. eine besondere Führungsnase, um ein falsches Einsetzen der Röhren zu vermeiden. Ferner muß der Sockel alle Merkmale der lösbaren Verbindung aufweisen: er muß einwandfreie Kontaktgebung mit geringen Übergangswiderständen gewährleisten und in seinem isolierten Teil aus mechanisch hochbeanspruchbarem Werkstoff mit gutem Isolationswiderstand und geringem Verlustwinkel bestehen. Außerdem muß seine Verbindung mit dem Röhrenkolben den hohen mechanischen Beanspruchungen des Röhrenwechsels (bis zu 7,5 kg Zugkraft bei Außenkontaktsockeln) gewachsen sein.

Es ist bemerkenswert, daß schon die Lieben-Röhre von 1910 einen 4poligen Stecksockel aufwies. Nach einem Umweg über die Messerkontaktsockelung der A-Röhre hat sich der Stiftsockel mit geringfügigen Änderungen bis vor wenigen Jahren halten können. Mit dem Aufkommen der Hexoden wurde der Stiftsockel zur Unterbringung der höheren Anschlußzahl erst noch einmal von 5 auf 7 Stifte erweitert, um dann von dem 8poligen Außenkontaktsockel verdrängt zu werden, der durch eine kleinere Ausführungsform, den 5poligen Außenkontaktsockel (für Dioden) ergänzt wurde.

Andere Sockelungen, so die der Loewe- und Tekade-Mehrfachröhren, haben sich nur kurze Zeit halten können und finden sich heute nur noch in umgewandelter Form bei Spezialröhren.

Der Sinn des stiftlosen Außenkontaktsockels war der, die Anschlußstellen möglichst weit auseinander zu setzen, um die schädlichen Kapazitäten zwischen den Kontakten herabzusetzen. Dieser Sockel, der in Deutschland erstmalig 1935 bei den seinerzeit auf den Markt gebrachten Autoröhren angewendet wurde, war schon einige Zeit vorher bei ausländischen Allstromröhren zu finden und galt deshalb als ausländische Schöpfung. Tatsächlich hatte er aber schon 1925 einen deutschen Vorläufer ganz ähnlicher Form bei den Röhren: Normal, Reflex, Ökonom und anderen Typen, die Valvo auf Wunsch mit diesem Sockel lieferte. Bei den später

Bild 60.
Stahlröhrensockel
(Telefunken)

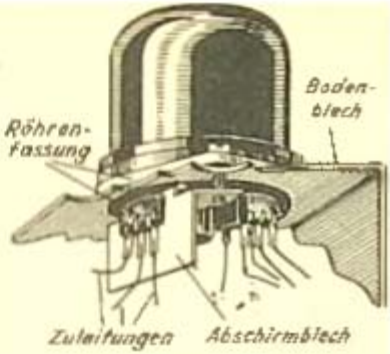


Bild 61. Äußeres Abschirmblech für Stahlröhren (Ratheiser)

aufkommenden Tetroden und Pentoden spielte jede Kapazitätsverringerung, gleichgültig, an welcher Stelle sie erreicht wurde, eine große Rolle. Deshalb wurde bei den letzten Glasröhrenserien der Gitteranschluß als Kolbenkappe ausgeführt, während bei älteren Schirmgitterröhren der Kolbenanschluß für die Anode bestimmt war. Erinnert sei auch an die Seitenklemme älterer Röhren für Raumlade- bzw. Schutzgitter (RE 074 d, RENS 1374 d). Wie bekannt, erhielten die Stahlröhren neben anderen Verbesserungen auch einen neuen Sockel. Bei ihm wird die eigentliche Sockelplatte von unten her in die Grundplatte eingeführt und dort festgeklemmt **(Bild 60)**. Sie besteht aus hochwertigem Isolierpreßstoff und trägt zwei Steckergruppen zu 3 und 5, insgesamt also 8 Steckern, die mit Einkerbungen bzw. Rillen versehen sind, in die die Federn der Fassung einrasten können. Zwischen den beiden Steckergruppen befindet sich ein Schlitz, der es gestattet, eine durch die Fassung gehende äußere Abschirmwand bis etwa 5 mm in den Röhrensockel hinein zu verlängern **(Bild 61)**. An der Steckerplatte befindet sich ferner ein Führungsstift mit einer Nase zum blinden Einführen der Röhre in die Fassung. Dieser Führungsstift ist innen hohl zur Aufnahme des zugeschweißten Pumpstengels.

Beim Stahlröhrensockel ist auch das Einfädeln der Elektrodenanschlußdrähte sehr erleichtert. Dieser Arbeitsgang

Bild 62. Einfädeln der Elektrodenzuführungen in einen Außenkontaktsockel (Philips-Valvo Kleinhempel)

ist bei der Quetschfußröhre ein sehr schwieriger, erst nach monatelanger Übung zu beherrschender Vorgang, wie **Bild 62** andeutet.

Ein weiterer Vorteil der Stahlröhrensockelung ist die kittlose Verbindung zwischen Röhre und Sockel. Bei der Quetschfußröhre muß dazu ein besonderer Sockelkitt verwendet werden. Er besteht meist aus Alabastergips oder Kunstharz und einer alkoholischen Lösung [73]. Der Kitt wird als teigartige Masse zwischen Sockel und Glas gestrichen. Bei der darauffolgenden Erhitzung verdampft der alkoholische Anteil des Kittes und die feste Substanz verbindet Glas und Sockel (**Bild 63**).

Neben dem Abfangen der mechanischen Kräfte beim Röhrenwechsel hat ein besonderer Sockel den Vorteil, daß die beim Austauschbau unerläßlichen Toleranzen bei Preßstoffen leichter zu beherrschen sind als in der Glastechnik.

Bild 63. Sockelrad, links: fertig verkittete Röhren, Mitte: vorbereitete Sockel und ungesockelte Röhren, rechts oben: Verkittungsvorrichtung (Philips-Valoo/Kleinhempel)

Bei den *Preßglasröhren* ist kein besonderer Sockel vorhanden. Hier sind die Elektrodenzuführungen im Preßteller, der den Quetschfuß der Glasröhren ersetzt, eingeschmolzen und gleichzeitig als Stecker ausgebildet. Über die hier auftretenden Probleme wurde schon gesprochen.

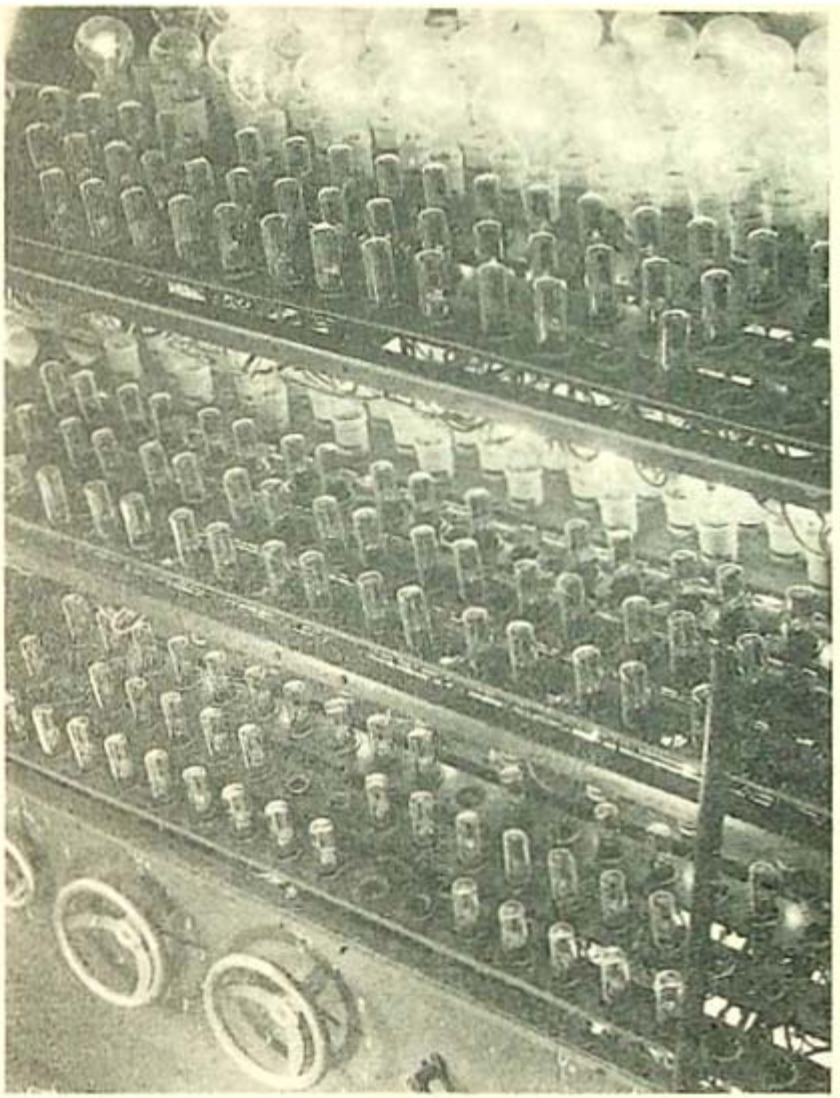


Bild 64. Formierrahmen für Außenkontaktröhren (Philips-Valvo/Kleinhempel)

Nach der Sockelung erhalten die Röhren ihre Oberflächenbehandlung (Metallisierung oder Lackbezug, Firmen- und Typenaufdruck) und werden unter Betriebsbedingungen oder nach besonderer Vorschrift eingebrannt (**Bild 64**), um anschließend der elektrischen und mechanischen Hauptprüfung

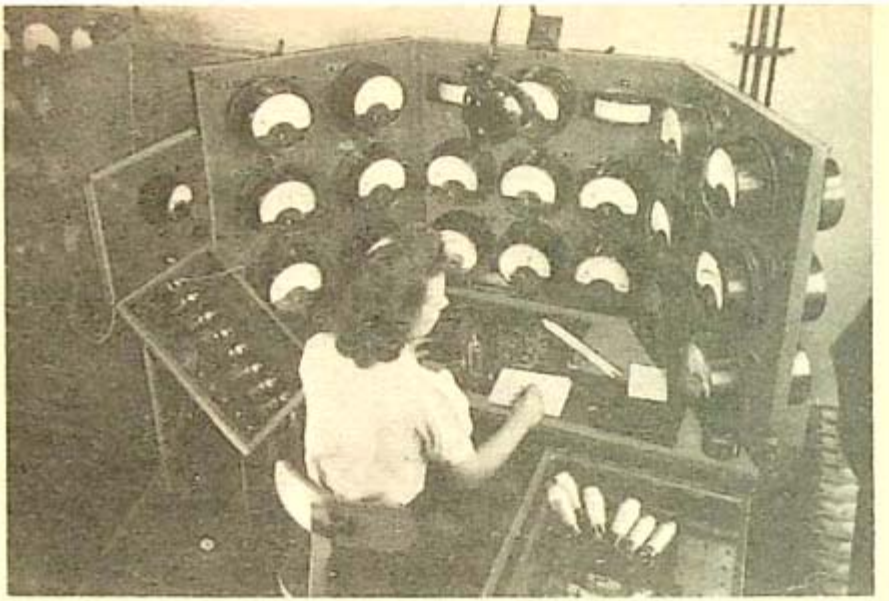


Bild 65. Röhrenmeßtisch für die elektrische Hauptprüfung (Philips-Valvo/Kleinhempel)

unterzogen zu werden (**Bild 65**). Haben sie diese bestanden, so steht ihnen — gut verpackt — der Weg zum Verbraucher offen.

IV. Einige besondere Probleme bei Spezialröhren

Die bisherigen Abschnitte befaßten sich ausschließlich mit den bei üblichen Radioröhren auftretenden Problemen der Entwicklung und Fabrikation. Dabei konnten die Erfahrungen, die außerhalb der Technik der eigentlichen Radioröhren gesammelt wurden, bei weitem nicht vollständig berücksichtigt werden. Ausgehend von den für Rundfunkgeräte geschaffenen Röhren wurden Fortschritte im Bau von Röhren für Sender und kommerzielle Geräte aller Art sowie in der Entwicklung von Röhren für Meß- (Katodenstrahlröhren, Zähler) und Forschungszwecke (Laufzeitröhren) gemacht, die ihrerseits neue Verbesserungen an Röhren aller Verwen-

dungszwecke herbeiführten. Dadurch und durch Kriegsentwicklungen ergab sich eine ganze Anzahl voneinander abweichender Röhrengattungen, die nun auch für friedliche Zwecke, wie in der Elektromedizin, in der Elektronik und in den forschenden und angewandten Naturwissenschaften verfügbar sind.

Den herkömmlichen Senderöhren und den neueren Hochtaströhren für Impulssender ist eine Reihe Entwicklungsprobleme und konstruktiver Maßnahmen gemeinsam, die auf der Notwendigkeit, große Leistungen innerhalb relativ kleiner Räume wirtschaftlich umzusetzen, beruhen. Demgegenüber sind die Miniaturröhren, die bereits kurz erwähnt wurden, aus dem Wunsche heraus entstanden, tragbare Geräte kleinster Abmessungen (Hörhilfen, Meßgeräte, Wettersonden usw.) bauen und auch für besondere Zwecke Tausende solcher Röhren (in elektrischen Rechenmaschinen) auf tragbaren Raum unterbringen zu können. Zu diesen äußerlich so verschiedenen Entwicklungseinrichtungen treten nicht minder wichtige Neuentwicklungen, deren Eigenheiten sich oft nur in Einzelheiten ihres Aufbaues bemerkbar machen.

Hierher gehören alle bereits besprochenen Ergebnisse der verbesserten, wirtschaftlicheren Fabrikationsmethoden sowie alle neueren Röhrentypen für hohe und höchste Frequenzen. Die Eroberung immer höherer Frequenzen ist ja nicht nur von theoretischem Interesse, sondern hat durchaus praktische Hintergründe, wie beispielsweise neuere Untersuchungen über außergewöhnliche medizinische Wirkungen der Mikrowellen zeigen. Neben der Auferstehung des Detektors in geläuterter Form (Transistor) und einer aus der Gattung Laufzeitröhren hervorgegangenen „-tron"-Familie (Magnetron, Klystron usw.) haben auch andere Spezialröhren-Entwicklungen, die durch einen hohen technischen Stand der Hochvakuum- und Elektronenstrahltechnik erst möglich wurden, ihrerseits wieder äußerst befruchtend auf die Technik gewirkt, der sie ihre Entstehung verdanken. Wenn auch bei weitem nicht alle neuen elektrischen und technologischen Erkenntnisse in der Radioröhren-Technik verwertet werden können — einfach, weil sie dort keine Rolle spielen —, so ist

doch die Zahl der zu beherrschenden Probleme und der zu berücksichtigenden elektrischen Forderungen durch die Ausweitung des öffentlichen Rundfunks auf den Ultrakurzwellenbereich und die bevorstehende Wiedereinführung des Fernsehens auf der Grundlage langjähriger deutscher, britischer und amerikanischer Erfahrungen beträchtlich vermehrt worden.

Wir wollen daher abschließend einige dieser Probleme streifen, die in den vorangegangenen Abschnitten noch nicht erwähnt wurden.

Für den *Ultrakurzwellen-Rundfunk* wie für das *Fernsehen* werden Röhren großer Steilheit bei kleinen Elektrodenkapazitäten benötigt, um überhaupt nennenswerte Verstärkungen zu erhalten. Das liegt daran, daß in beiden Techniken verhältnismäßig breite Frequenzbänder zu verarbeiten sind, so daß sich nach bekannten physikalischen Zusammenhängen kleine Außenwiderstände und damit geringe Verstärkungen ergeben. Hinzu kommt beim UKW-Rundfunk wie beim Fernsehen, daß die Eingangsstufen der Empfänger wegen der hohen Frequenzen nur sehr kleine Resonanzwiderstände der Kreise zulassen, weil die zur Abstimmung üblicher Schwingungskreise (aus Spule und Kondensator) erforderlichen Kapazitäten bereits in der Größenordnung der Schalt- und Röhrenkapazitäten liegen und sogar noch größer gehalten werden müssen, um die Funktion der Geräte nach Röhrenwechsel (fabrikatorische Streuung der Röhrenkapazitäten!) sicherzustellen. Andererseits können die hochohmigen Topf- und Hohlraumkreise der Dezimeterwellen-Technik nicht benutzt werden, weil ihre Abmessungen bei Ultrakurzwellen zu unhandlich werden.

Zu den eben genannten Forderungen nach hoher Steilheit und kleinen Kapazitäten, also nach großen S/C-Verhältnissen (vgl. Band 3 der „Radio-Praktiker-Bücherei"), tritt die Notwendigkeit, das Rauschen der Röhren in tragbaren Grenzen zu halten, wofür der in den Datenblättern angegebene äquivalente Rauschwiderstand (vgl. Band 3 der „Radio-Praktiker-Bücherei") ein Maß ist. Bei Höchstfrequenzen (einige 100 bis 1000 MHz) wird die erzielbare Empfindlichkeit eines Empfän-

gers ja nur noch durch das Röhrenrauschen bestimmt. Hieraus wurde die (vergleichende) Methode der Empfindlichkeitsmessung mittels einer Rauschdiode (74) entwickelt. Neben dem äquivalenten Rauschwiderstand und den oben erwähnten Kreiswiderständen wird der ultrahochfrequente Eingangswiderstand einer Röhre auch wesentlich durch die Eigenschaften des Katodenanschlusses bestimmt. Der Katodenanschluß innerhalb der Röhre und seine äußere Fortsetzung in der Schaltung ist ja der einzige metallische Elektronenweg, der bei der bisher üblichen Katodenbasis-Schaltung Gitter- und Anodenkreis der Röhre gemeinsam ist. Infolgedessen spielt die Induktivität dieses Leiterstückes, die oft nur eine knappe Zehnerpotenz unter der der Schwingkreisspule liegt, bereits eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Wenn man die Katodeninduktivität nicht durch elektrische Maßnahmen (vgl. Band 3 der „Radio-Praktiker-Bücherei") kompensiert oder ihren Einfluß durch doppelte Katodenausführung ganz eliminiert, verkleinert sie den Eingangswiderstand der Röhre erheblich, wodurch auch die theoretisch mögliche Verstärkung herabgesetzt wird. Das gleiche gilt für den Fall, daß der Überbrückungskondensator des für die Erzeugung der Gittervorspannung nötigen Katodenwiderstandes zu groß gemacht wird (vgl. Band 4 der RPB).

Abgesehen von diesem letztgenannten elektrischen Gesichtspunkt kommt es also bei der Konstruktion von Röhren für UKW- und Fernsehgeräte darauf an, durch kleine Elektrodenabstände große Steilheiten und geringe Laufzeiten und durch möglichst kurze Elektrodenzuleitungen unter Fortfall besonderer Sockel kleine Elektrodenkapazitäten und Zuleitungs-Induktivitäten zu erzielen. Ferner sollte das Stromverteilungsrauschen bei Pentoden durch geschickte Anordnung der Gitter auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden, während das Gesamtrauschen von Dioden durch extrem kleine Katoden-Anoden-Abstände (bis herab zu $^1/_{10}$ mm bei planparallelen Systemen) und große Katodenoberflächen verringert werden kann. Oft ist es auch günstig, einen geringen Querwiderstand der Emissionsschicht vorzusehen, indem man die Schicht möglichst dünn ausbildet.

Bei Mehrelektrodenröhren wird die Herabsetzung des Eingangswiderstandes weniger durch den leicht vermeidbaren Gitterstrom ermöglicht, als durch rein elektronische Verluste der Katoden-Gitter-Strecke. Die hier besonders bei hohen Frequenzen mit dem Konvektionsstrom verbundenen Influenzverluste lassen sich nur durch außerordentlich kleine Elektrodenabstände herabsetzen, was gleichzeitig ja auch im Interesse großer Steilheit wünschenswert ist. Daher muß die Fabrikation hier Gitter-Katoden-Abstände beherrschen, die nur noch 0,1 oder gar 0,08 mm betragen. Bei den Röhren für ultrahohe Frequenzen bevorzugte man infolgedessen in den letzten Kriegsjahren keramische Röhrenkonstruktionen, weniger wegen der (durchaus nicht besseren) dielektrischen Eigenschaften, als wegen der günstigeren Konstruktion, die derartige Kleinstabstände leicht ermöglichte. Wenn auch die Fabrikation keramischer Röhren — besonders bei kleinen Serien — teurer als die anderer Bauarten ist, so ist sie doch als sehr sicher anzusprechen (74, 77). Das liegt mit an dem meist planparallelen Aufbau, der stark an den der ersten historischen Röhren erinnert, nur daß der dazwischenliegende Entwicklungsweg zahlreiche Verbesserungen gezeitigt hat, die dieser Neukonstruktion zugute kamen.

Die hier benutzten rohrförmigen oder massiven Elektrodenzuführungen haben nicht nur mechanische und elektrische Vorteile (sie lassen sich nämlich unmittelbar in konzentrische Leitungen einbauen), sondern ermöglichen auch eine konsequente Durchführung der Gitterbasis-Schaltung, bei der nicht die Katode, sondern das Gitter die gemeinsame Elektrode für Gitter- und Anodenkreis bildet. Wegen der hierfür eingeführten Scheibeneinschmelzung wurden diese Keramik-Konstruktionen vielfach als *Scheibenröhren* bezeichnet. Als besonders interessant mag noch erwähnt werden daß der richtige Elektrodenabstand durch ein besonders ausgeklügeltes Verfahren während der elektrischen Prüfung in der Fabrik unter laufender Ruhestrommessung eingestellt und nicht, wie bei anderen Serien üblich, durch Montagelehren gesichert wird.

Da diese für Höchstfrequenzen bestimmten Röhren durchweg als Trioden gebaut werden, entfallen besondere Maßnahmen zur Verhinderung störender Sekundärelektronen, die bei üblichen Empfängerröhren mannigfaltige Probleme verursachten. Im Gegensatz hierzu gibt es Fälle, in denen Sekundärelektronen geradezu erwünscht sind (75), weil durch die kaskadenartige Hintereinanderschaltung von Sekundär-Emissionsstrecken, z. B. bei Fotozellen mit Sekundärelektronen-Vervielfachern für Fernsehzwecke, unmittelbare Verstärkungen von 10^8 und Steilheiten von 100 mA/V ermöglicht werden. Während die ersten amerikanischen *Sekundärelektronen-Vervielfacher* oft winkelförmig angeordnete Elektroden benutzen, findet man in deutschen und neueren amerikanischen Ausführungen (AEG, Fernseh GmbH.) parallel hintereinanderstehende Netzelektroden (Prallgitter) oder nebeneinanderliegende ringförmige Prall-Elektroden, aus denen 2 bis 10 Sekundär-Emissions-Stufen gebildet werden. Natürlich werden hier Elektrodenmaterialien bevorzugt (Wolfram, Tantal, Molybdän, Nickel, Kupfer, Platin), die besonders leicht Sekundärelektronen abgeben, wenn man nicht besondere Überzüge, z. B. aus Alkali- oder Magnesiumoxyden, aufbringt.

Der Name Sekundärelektronen-Vervielfacher, auch *Multiplier*, deutet das lawinenartige Anwachsen des Sekundärelektronenstromes an, das eintritt, wenn durch zunehmende Potentiale (z. B. 150 Volt je Stufe) der Prallgitter oder -anoden gesichert wird, daß jedes auf sie auftreffende Elektron einige weitere Sekundärelektronen (je nach Sekundär-Emissionsfaktor) herausschlägt.

Derartige Röhren, die als Vervielfacher meist mit kalten Katoden arbeiten, sind auch für andere Zwecke als die Verstärkung von Fotoströmen wertvoll und aussichtsreich, so (mit Glühkatode) für Breitbandverstärkung, Phasenumkehrstufen usw. Daher werden vielfach Rundfunkröhren mit Vervielfachungsstrecken ausgerüstet, so die EE 1 und die EE 50, die bei normalen Betriebsspannungen von 250 Volt Steilheiten von 14 mA/V aufweisen. Da der hier auftretende Sekundärkatodenstrom fast in gleicher Stärke, aber entgegengesetzt auftritt wie der Primärelektronenstrom (Ano-

denstrom), ergeben sich gute Anwendungsmöglichkeiten für Treiber- und Phasenumkehrstufen.

Die technologischen Probleme der Sekundäremissionsröhren entsprechen im allgemeinen denen der normalen Radioröhren, nur müssen hier die oben aufgeführten Gesichtspunkte beachtet und Verunreinigungen der Prallelektroden, z. B. durch das Barium oder Bariumoxyd der Primärkatode, sorgfältig vermieden werden. Außerdem müssen neben der besonderen Konstruktion der Prallelektroden (z. B. Prallgitter mit verschiedener Maschenweite) oft noch bestimmte Elektronenbündelungs-Elektroden vorgesehen werden, die den gewünschten Laufweg der Sekundärelektronen sicherstellen.

Es wurde schon erwähnt, daß die Ausnutzung der bei Radioröhren unerwünschten Laufzeit der Elektronen zu völlig neuartigen Röhrenkonstruktionen geführt hat. Hinsichtlich der Wirkungsweise und der Schaltungstechnik der *Laufzeitröhren* sei auf die einschlägige Literatur (74 u. a.) verwiesen. Da sie sich in Dioden, Bremsfeldröhren, Magnetfeldröhren und Röhren mit Raumladungs-, Quer- und Geschwindigkeitssteuerung (Triftröhren) einteilen lassen, würde die Besprechung ihrer elektrischen Eigenschaften hier zu weit führen, zumal auch diese Gruppen noch weiter unterteilt sind.

Allen Laufzeitröhren ist die Verbindung einer Elektronenstrecke mit einem oder mehreren frequenzbestimmenden Resonatoren gemeinsam. Die Notwendigkeit dieser Kombination stellte die Entwicklung vor eine Reihe neuer technologischer Aufgaben. So hängt die maximal erreichbare Frequenz von den kleinsten erzielbaren Systemabmessungen und diese wiederum von der höchsterreichbaren Stromdichte in der Katodenoberfläche, von der möglichen Wärmeableitung und von Entladungserscheinungen ab, die bei zu hohen Feldstärken auftreten. Daneben zielt die weitere Entwicklung auf die Vermeidung von Verlusten ab, die durch den Systemaufbau verursacht werden und z. T. über 50 % betragen.

Die zu bewältigenden Probleme unterscheiden sich wesentlich von denen normaler Radioröhren, weil die Systemabmessungen bereits in der Größenordnung der Betriebs-

wellenlängen liegen. Diese Tatsache ist übrigens auch Vorbedingung für die Unterbringung des Resonatorsystems in dem Kolben der Elektronenstrecke, wenn man unter Verzicht auf leicht variable Resonanzfrequenzen den Resonator aus hochfrequenztechnischen Gründen im Vakuum arbeiten lassen will. Andererseits bedingt eine Anordnung des Resonators außerhalb der eigentlichen Röhre, daß große Blindleistungen über die Vakuum-Luft-Grenze zu übertragen sind, wodurch an dieser Stelle, also im Dielektrikum, hohe Feldstärken auftreten und beherrscht werden müssen. Es hat folglich nicht an Versuchen gefehlt, eine Kompromißlösung zu finden, indem beispielsweise der Resonator nur zur Hälfte in das Vakuum einbezogen wurde, oder dadurch, daß man durch eine rohrartige Einstülpung der Wandung (in den im Vakuum untergebrachten Resonator hinein) eine kapazitive Abstimmung des Resonators von außen ermöglichte. Auch die Unterteilung des Resonators in je einen innerhalb und außerhalb des Vakuums arbeitenden Kreis mit dazwischenliegender Kapazitätstransformation zur Verminderung der Feldstärke im Durchführungs-Dielektrikum wurde mit Erfolg versucht.

Natürlich haben diese und andere Lösungen des Problems Vorteile und Nachteile, die bei der endgültigen Ausführung einer Laufzeitröhre im Interesse des jeweiligen Verwendungszweckes gegeneinander abgewogen werden müssen. Infolgedessen ergibt sich in der praktischen Gestaltung von Laufzeitröhren eine angesichts der Jugend dieser Röhren erstaunliche Vielfalt der äußeren Formen und inneren Konstruktionen. So ist es auch verständlich, daß die benutzten Resonatoren in ihrer Gestalt stark voneinander abweichen. Neben Band- oder Drahtleitungssystemen treten vorwiegend Hohlraumresonatoren in Erscheinung, die in Form konzentrischer Leitungen oder aus einer ringförmigen Anordnung mehrerer Einzelresonatoren (wie beim Vielschlitz-Magnetron) aufgebaut sein können. Die bei Laufzeitröhren oft vorkommenden großflächigen Glas-Metallverschmelzungen verlangen eine besonders sorgfältige Beachtung der bereits in Abschnitt III besprochenen Gesichtspunkte. Es sind die gleichen Probleme, wie sie bei den auch für längere Ultrakurzwellen

verwendbaren Scheibenröhren auftreten. Bei Keramikausführungen solcher Röhren kann die Verbindung zwischen Metall und Keramik durch eine Glasverschmelzung hergestellt werden, die zur Vermeidung von Zugspannungen in den beteiligten Bauelementen eingelegte Glasringe und aufgeschmolzene Nickel-Eisen-Ringe erhalten können. Eine andere Möglichkeit der Keramik-Metall-Verbindung besteht grundsätzlich in einem direkten Lötverfahren. Dazu wird der zu verlötende Teil der Keramik durch Aufschmelzen oder Einsintern, z. B. von Wolfram- oder Molybdänpulver, vormetallisiert, worauf die eigentliche Lötung mittels eines Lotes (Silber oder Silberlegierung), das auch die Vakuumdichtung übernimmt, vorgenommen werden kann. Derartige Lötungen haben den Vorteil, daß sie Entgasungstemperaturen bis 600° C aushalten. Die Metallteile derartiger Metall-Keramikröhren bestehen meist aus Nickeleisen oder Chromeisen und haben sich auch bei Scheibenlötungen gut bewährt.

Weitere Gesichtspunkte zu diesen Fragen finden sich in der neueren amerikanischen Literatur (76, 77). Die Keramikteile wurden bereits frühzeitig in gewisser Beziehung genormt, so daß sie sich zum Aufbau möglichst vieler verschiedenartiger Röhren eigneten.

Zu den bisher angedeuteten konstruktiven und technologischen Problemen treten besonders bei Leistungsröhren dieser Gattung noch zusätzliche Schwierigkeiten wegen der erforderlichen Kühlung auf. So finden sich auch bezüglich der Wärmeabfuhr mannigfaltige Lösungen. Eine solche Lösung stellt z. B. ein wärmefangendes Wolframblech innerhalb einer (Glas-)Röhre dar, das seine Wärmeleistung durch Strahlung wiederum an die Glaswandung und über sie nach außen abgibt. Eine andere Möglichkeit (bei Keramikröhren) besteht in der Ausbildung der Anode und ihrer Zuleitung als Kupferklotz, dem ein mit Kühlrippen versehener Aluminiumkörper zur Wärmeabstrahlung aufgesetzt wird. Sind die abzustrahlenden Wärmeleistungen nur gering, so wird die Wärmeabfuhr oft auch von der Fassung übernommen.

Mit dem Wärmehaushalt steht übrigens auch die Rückheizung im Zusammenhang, die in zweierlei Gestalt auf-

treten kann. Die *thermische Rückheizung* entsteht, wenn ein Teil der Anodenwärme die Katode durch Wärmestrahlung zusätzlich heizt. Diese zusätzliche Heizung ist meist vernachlässigbar. Dagegen wirkt sich die *hochfrequente Rückheizung* weit stärker aus. Sie entsteht, wenn Hf-Energie in die Katode induziert wird und diese dadurch zusätzlich erwärmt. Diese bei verschiedenen Röhrentypen auch verschieden stark auftretende Art der Rückheizung verringert natürlich die Lebensdauer der betroffenen Röhren erheblich. Sie ist nur durch sorgfältige Verdrosselung und Abblockung der Heizfadenanschlüsse zu beseitigen, wobei die Katode unmittelbar am Sockel mit dem einen Heizfadenpol verbunden werden muß und ein schaltungsmäßig vorgesehener Katodenwiderstand erst hinter der Verdrosselung an die gleiche Leitung angeschlossen werden kann.

Wenn auch zu erwarten ist, daß die Anzahl der Dezimeter- und Laufzeitröhren bzw. ihrer Konstruktionen im Laufe der Zeit durch Herausbildung von Standardtypen abnimmt, so kann man doch vermuten, daß einzelne der bei ihnen gelösten technologischen und konstruktiven Fragen sich befruchtend auf die Fabrikation üblicher Rundfunkröhren auswirken werden.

V. Typenbezeichnungen einiger älterer und neuerer Röhrenserien

Schon in den Kinderjahren der Elektronenröhre entstand eine ganze Reihe verschiedener Röhrentypen, die zur einwandfreien Unterscheidung voneinander mit leicht merkbaren und mehr oder weniger sinnvollen Bezeichnungen versehen werden mußten. Historisch gesehen ist es ganz interessant, daß keines der älteren Bezeichnungssysteme auf die Dauer beibehalten werden konnte, weil die Entwicklung neuer Typen größeren Umfang annahm, als man ursprünglich voraussehen konnte. So mußte Philips sein altes Zahlensystem aufgeben, weil es einfach nicht ausreichte. Telefunken und Valvo gaben die Röhrenkennzeichnung nach Heizspan-

nung und Heizstrom (in 1/100 Amp.) auf, als ganze Röhrenserien mit gleichen Heizdaten aufgelegt wurden, wodurch schon vorher manche Ausnahmen zugelassen werden mußten. Seit der großen Typenbereinigung um 1934/35 sind bei den in Deutschland verbreitetsten Röhren kaum noch Schwierigkeiten eingetreten. Daß sie trotzdem nicht ganz ausgeschlossen werden können, ergibt sich am Beispiel der RV 12 P 2001, die einer RV 12 P 2000 mit Regelcharakteristik entspricht, ihrer Bezeichnung nach aber einen Verstärkungsfaktor 2001 gegenüber 2000 bei dem ungeregelten Typ haben müßte.

Auch in der Nomenklatur der amerikanischen Röhren herrscht ein ziemliches Durcheinander, seit das ursprünglich vorgesehene Schema durch die unerwartete Vielzahl der Neuentwicklungen gesprengt wurde. Zur Veranschaulichung der verschiedenen Bezeichnungsverfahren folgen anschließend die Bezeichnungsschlüssel einiger älterer und neuerer Röhrenserien, die — soweit dem Verfasser bekannt ist — in dieser Form und Zusammenstellung bisher nicht veröffentlicht wurden. Sie wurden in nachfolgender Reihenfolge aufgeführt:

A. deutsche Röhrenserien vor 1934/35

B. deutsche Röhrenserien ab 1935

C. in Europa verbreitete ausländische Röhrenserien (die Einzelübersichten sind alphabetisch geordnet).

A. Deutsche Röhrenserien vor 1934/35

a) Hoges

Die Hochohm-Gesellschaft stellte nur Gleichrichterröhren her, die nach folgendem Schema bezeichnet wurden:

1. Buchstabe: E = Einweg-
   V = Vollweg-
2. Buchstabe: G = Gleichrichter
1. u 2. Ziffer: zulässige Transformatorspannung je System in 10-Volt-Einheiten
3. u. 4. Ziffer: entnehmbarer Anodenstrom in 1/100 Amp.

b) Loewe (Opta) fertigte speziell Mehrfachröhren, deren Typenbezeichnung aber uneinheitlich war. Es bedeuteten:

vorgestellte Ziffer = Zahl der eingebauten Röhrensysteme

HF = Hochfrequenzverstärker
HMD = Oszillator- und Mischröhre
NF = Niederfrequenzverstärker (einschl. Audion)
NFW = Dreifachröhre für 4 V Heizung, Nf-Verstärker (einschl. Audion)
NFK = wie NFW, jedoch höhere Endleistung
NFL = wie NFK, jedoch 1. System für Kurzwellenempfang geeignet
MO = Misch- und Oszillatorröhre
WG = indirekt geheizte Allstromröhre
Bat = für Batterieheizung (4 Volt)
Net = direkte Gleichstrom-Serienheizung

Nachfolgende Ziffern: bei den MO- und WG-Typen = lfd. Typennummer.

Außerdem baute Loewe Netzgleichrichterröhren, die an einer zweistelligen Typennummer mit nachfolgendem NG kenntlich sind, soweit sie nicht nach einem G mit Telefunken und Valvo übereinstimmende Ziffernfolgen aufweisen.

c) Philips

Kennbuchstabe: A = 0,06 . . . . 0,1 Amp. Heizstrom
B = 0,1 . . . . . 0,2 „ „
C = 0,2 . . . . . 0,4 „ „
D = 0,4 . . . . . 0,7 „ „
E = 0,7 . . . . . 1,25 „ „
F = über 1,25 „ „

Bei Trioden bedeuten:

1. bzw. 1. + 2. Ziffer: Heizspannung in Volt
2. + 3. bzw. 3. + 4. Ziffer: Verstärkungsfaktor im Arbeitspunkt

Bei Mehrgitterröhren bedeutet die letzte Ziffer:

1 = Doppelgitterröhre
2 = Hf-Schirmgitterröhre
3 = Endpentode
4 = Binode
5 = Hf-Regeltetrode
6 = Hf-Regelpentode
8 = Mischhexode
9 = Regelhexode.

Bei Philips werden die Regelröhren oft Selektoden genannt. Außerdem sind von Philips zahlreiche Zahlentypen erschienen, z. B. folgende Serien:

10.., 15.., 18..: meist Gleichrichterröhren
19.. : meist Stromregelröhren (daneben C-Typen mit lfd. Nummern)
35.. : Fotozellen
46.. : Spezialröhren für Meßzwecke, Kraftverstärker usw.

d) Rectron lieferte vorwiegend Gleichrichterröhren, deren Typenbezeichnung stets mit dem Kennbuchstaben R beginnt. Von der darauffolgenden Nummer bezeichnen
die 1. + 2. Ziffer: die Heizspannung in 10-Volt-Einheiten
die 3. + 4. Ziffer: die zulässige Transformatorenspannung in 10-Volt-Einheiten.

e) Auch *Sator* lieferte nur Gleichrichterröhren: Hier kennzeichnen:
der 1. Buchstabe: E = Einweg
V = Vollweg
der 2. Buchstabe: G = Gleichrichter
die 1. Ziffer: Heizspannung in Volt
die 2. + 3. Ziffer: Typennummer.

f) Seibt benutzte für Gleichrichterröhren die gleichen Kennbuchstaben wie Hoges und Sator, jedoch mit abweichenden Typennummern.

g) Siemens baute vorwiegend Ladegleichrichter mit folgender Kennzeichnung:
Kennbuchstaben: Gl
Ziffern = Heizstrom in Amp.
ein angehängter kleiner Buchstabe ersetzt die Typennummer.
Die bekannten Technischen Verstärkerröhren von Siemens erhielten große und kleine Buchstaben ohne besondere Bedeutung an Stelle von Typennummern. Dagegen haben die auf „EW" folgenden Zahlen bei den Siemens-Eisen-Wasserstoff-Widerständen eine Bedeutung:

1. + 2. Ziffer = ungefährer Nennstrom in Amp.
3. + 4. Ziffer = Mindestspannungsabfall in Volt

h) Bei *Tekade* galt folgender Schlüssel:

1. Ziffer = Heizspannung in Volt
Buchstabe A = Audion
GT u. G = Gleichrichterröhre
H = Hf-Röhre
K = Kraftverstärkerröhre
L = Endröhre
N = Nf-Röhre
S = Schirmgitterröhre
U = Universalröhre
W = Widerstandsverstärkerröhre
2. + 3. Ziffer: ungefährer Heizstrom in $^1/_{100}$ Amp.

Außerdem wurden Doppel- und Dreifachröhren gebaut, die durch „VT" mit anschließender Typennummer gekennzeichnet wurden.

i) Die älteren Telefunken-Empfängerröhren weisen meist Stiftsockel und folgende Kennzeichnung auf, die auch für neuere kommerzielle Typen noch gültig ist:

1. Buchstabe: R = Röhre

2. Buchstabe: E = Empfänger
F in Verbindung mit G: Fernseh-Gleichrichter
G = Gleichrichter
L = Leistungsröhre, auch bei neueren kommerziellen Röhren
S = Senderöhre
S in Verbindung mit Q: gittergesteuerter Gleichrichter
V = Kraft- oder Sendeverstärkerröhre
Z = Zweiweggleichrichter, auch bei neueren kommerziellen Röhren
L, V s. a. Wehrmachtsröhren

3. Buchstabe: N = für Netzanschluß-Stromversorgung
Q = Quecksilberdampf-

S = Schirmgitterröhre
Z = Doppelröhre, auch Zweweg-

4. Buchstabe: S = Schirmgitterröhre
Z = Zweweg-

Die darauffolgenden Ziffern bedeuten bei Empfängerröhren:
1. + 2., z. T. noch 3. Ziffer: ungefährer Heizstrom in 1/100 Amp.
die folgende(n) Ziffer(n): ungefähre Heizspannung in Volt.

Angehängte Buchstaben: Bi = bifilarer Heizfaden
d = Seitenschraube am Sockel
n = neutro, Triode mit besonders kleiner Elektrodenkapazität
t = alter 4poliger Telefunkensockel
w = Sockel mit 2 Seitenklemmen (zur Verwendung von Wechselstromröhren in älteren Geräten).

k) auf *Tungsram-Röhren* bedeuten:

Bei Batterie- und Wechselstromröhren:

1. Ziffer = Heizspannung in Volt

Bei Gleichstrom-Serien-Röhren:

1. + 2. Ziffer = Heizspannung in Volt

Die letzten Ziffern = ungefährer Heizstrom in 1/100 Amp.

Nur ein einzelner Buchstabe:

G = Universalröhre
L, P = Endtriode
P mit zwei durch / getrennten Zahlengruppen Kraftverstärkerröhren
R = Widerstandsverstärker
S = Schirmgitterröhre
V = Einweggleichrichter

Bei mehreren Buchstaben:

der 1. Buchstabe (bei insgesamt 3 Buchstaben auch der 2.):

A = Verstärkerröhre, allgemein
D = Doppel- oder Doppelgitterröhre
H = Hf-Röhre
L = Endröhre
M = Mischröhre
P = Endröhre
P in Verbindung mit V = Zweiweggleichrichter
S = Schirmgitterröhre

2. Buchstabe: D = Demodulatorröhre
E = Exponentialröhre
G = Universalröhre
O = Oktode
P = Pentode
R = Widerstandsverstärkerröhre
S = Schirmgitterröhre
V = Gleichrichter

Zwei gleiche Buchstaben (PP, SS) deuten meist eine Verstärkung der Eigenschaften an. Die neueren Tungsramröhren (nach 1935) haben die gleichen Bezeichnungen wie die deutschen Serien ab 1935 mit vorangestelltem Kennbuchstaben T.

l) Valoo-Röhren

Buchstaben: A = Audionröhre
AN = Binode
H = Hf-Röhre
H...D = Hf-Tetrode oder -Pentode
K = Kraftverstärkerröhre
L = Endröhre
L...D = Endpentode
LK = Kraftverstärkerröhre
...S = für Serienheizung ausgesucht
N = Nf-Röhre
U = Universalröhre
U...D = Doppelgitterröhre
W = Widerstandsverstärker-
X = Hexode
Z = Zweifachröhre

Die darauffolgenden Ziffern bedeuten bei Batterie- und Wechselstromröhren:

1. Ziffer = Heizspannung in Volt
folgende Ziffern = Heizstrom in 1/100 Amp.

Bei Gleichstrom-Serien-Röhren:

1. + 2. Ziffer = Typennummer bzw. ungefähre Heizspannung

3. + 4. Ziffer: 18 = 0,18 Amp. Heizstrom, sonst Typennummer

Der Zusatz „Goldene Serie" kennzeichnet bifilare Heizfäden.

B. Deutsche Röhrenserien ab 1935:

a) Gemeinsamer Telefunken/Philips-Valvo-Typenschlüssel:

1. Buchstabe:

A = 4 Volt (indirekte) Wechselstromheizung
B = indirekt geheizte (0,18 Amp.) Gleichstromröhre
C = indirekt geheizte (0,2 Amp.) Allstromröhre
D = 1,2...1,4 Volt-Batterieröhre
E = 6,3 Volt (indirekte) Wechselstromheizung
F = indirekte 13-Volt-Heizung
H = direkt geheizte 4-Volt-Röhre
K = direkt geheizte 2-Volt-Röhre
T = ungezählter Kennbuchstabe für Tungsramröhren
U = indirekt geheizte Allstromröhre (0,1 Amp.)
V = indirekt geheizte Allstromröhre (0,05 Amp.; bei Vorstufenröhren: 55 Volt)

2. und 3. Buchstabe:

A = Diode
B = Duodiode
C = Triode
D = Endtriode
E = Tetrode
F = Pentode
H = Hexode oder Heptode
K = Oktode

L = Endpentode, bei neueren kommerziellen Serien = Leistungsröhre
M = Magisches Auge
P = Sekundäremissionsröhre
Q = Nonode
X = Vollweggleichrichter mit Gasfüllung
Y = Hochvakuum-Einweggleichrichter
Z = Hochvakuum-Zweiweggleichrichter

Die auf die Buchstaben folgenden Ziffern sind Typennummern nach folgendem Schema:

1... 9 Typen mit Außenkontaktsockel
11...19 Typen mit Stahlröhrensockel
21...25 Typen mit octalähnlichen Sockeln und sockellose Preßglasröhren
40...45 Typen mit Preßglas- bzw. Rimlocksockel
30...39 und
50...55 meist Philipsröhren mit besonderen Eigenschaften und verschiedenen Sockeln
71 ff. meist Lorenzröhren mit octalähnlichem Sockel
80...83 Spezial-Miniaturröhren von Philips und Mullard
91...95 Miniaturröhren
über 100 Spezialröhren verschiedener Hersteller.

b) Deutsche kommerzielle Röhren:

1. Buchstabe:
L = Luftfahrtröhre
R = Heeresröhre

2. Buchstabe:
B = Katodenstrahlröhre (nur Luftfahrt)
D = Dezimeterröhre
F = elektronische Röhre (Bildwandler, Ikonoskop, Fotozelle usw.)
G = Gleichrichter oder Demodulator, auch Impulsröhre
K = bei Luftfahrt: Konstanthalter
beim Heer: Katodenstrahlröhre
M = Magnetfeldröhre
S = Senderöhre
V = (Empfangs-)Verstärkerröhre

Ziffern: bei Luftfahrt = Typennummern ohne besondere Bedeutung
beim Heer = mittl. Heizspannung (Volt)

Bei Heeresröhren:

3. Buchstabe:
A = Abstimmzeiger
D = Doppelweggleichrichter
G = Gleichrichter
H = Hexode
L = Laufzeitröhre
M = Magnetfeldröhre
MM = doppelt-magnetische Ablenkung
MS = magn. und elektr. Ablenkung
P = Pentode
SS = doppelt-elektrische Ablenkung
T = Triode

Letzte Ziffern: Typennummern, bei Vorstufenröhren auch = theoret. Verstärkungsfaktor, bei Leistungsröhren auch = Verlustleistung in Watt.

Zur weiteren Typen-Unterscheidung wurden oft noch kleine Buchstaben und Ziffern angehängt.

C. In Europa verbreitete ausländische Röhrenserien:

a) Britische Wehrmachtsröhren:

1. Buchstabe:
A = army (Heer)
N = naval (Marine)
V = RAF

2. Buchstabe:
C = Katodenstrahlröhre
I = (indicator) Abstimmanzeiger
R = (receiver) Empfängerröhre
S = Stabilisator
T = (transmitter) Senderöhre
U = Gleichrichterröhre
W = ausgesuchte Normalröhre oder (goshaltige) Spezialröhre

3. u. 4. Buchstabe: D = Diode
H = Hexode oder Heptode
P = Pentode oder Beam Power Tetrode
R nach C = Katodenstrahlröhre
S = Schirmgitterröhre oder Beam Tetrode (bes. bei Senderöhren)
T = Triode (bei Verbundröhren)

dahinter folgt eine laufende Typennummer.

b) *Amerikanische Wehrmachtsröhren* sind kenntlich an einem VT mit nachfolgender laufender Typennummer (ähnlich waren die ersten Valvo-Typen auf dem amerikanischen Markt bezeichnet).

c) *Amerikanische Zivilröhren* folgen bei den jeweils zuerst erschienenen Typen meist folgenden Regeln: Vorsatzbuchstaben sind stets Herstellerbezeichnungen; Ausnahmen:

S = (single ended) einendige Ausführung
UX = 4 Stift-Sockel
UX = 5 Stift-Sockel
UZ = 6 Stift-Sockel
U 7 = 7 Stift-Sockel

1. bzw. 1. bis 3. Ziffer: ungefähre Heizspannung.

Die nun folgenden Buchstaben dienen zur Typenunterscheidung; die letzten Buchstaben des Alphabetes werden vorzugsweise für Netzgleichrichter verwendet.

Danach folgt eine Ziffer, die die Zahl der am Sockel herausgeführten Elektroden einschl. Heizfaden (= 1!), Katode und Metallisierung angibt.

Angehängte Buchstaben bedeuten:

G = Glasröhre mit Octalsockel
GT = Bantam-(Kleinröhren)
MG = Glasröhre mit besonderem Abschirmzylinder
S, MS = gespritzter Metallüberzug
T = Tetrode
X = keramischer Sockel.

IV. Literaturverzeichnis

a) Im Text angezogene Literatur:

[1] Steimel, Telefunken-Hausmitteilungen, Heft 64, S. 7.
[2] Lenard, Ann. d. Physik 65/1898, 504.
[3] D.R.P. 179 807.
[4] Barkhausen, Elektronenröhren, Band I, 4. Aufl.
[5] v. Ardenne, Rafa 9/1930, 440 und [4], S. 77.
[6] Theile und te Gude, Funk 1941, 67.
[7] Kammerlohr, Hochfrequenztechnik II, 142, Leipzig 1939.
[8] Strutt, Moderne Mehrgitter-Elektronenröhren, Band I, Berlin 1937.
[9] Ratheiser, Beilage zu Heft 13 der Telefunkenröhre, S. 50.
[10] wie [8], S. 75, vergleiche auch: J. Runge, Telefunkenröhre Heft 10, 128 und Rothe, Telefunkenröhre Heft 17, 213.
[11] Jonker und Overbeek, Phil. Techn. Rdsch. 3/1938, 271.
[12] Fortschritte der Funktechnik, 4. Band, 28.
[13] Jonker und Overbeek, Der φ-Detektor, Phil. Techn. Rdsch. 11/Juli 1949, 1 Radio-Praktiker-Bücherei Heft 3, S. 41, 55, Heft 4 und Heft 5.
[14] D.R.P. 638 723 (Telefunken).
[15] Funk 1941, 109 und Philips Bücherreihe über Elektronenröhren Band 3, S. 119, 142.
[16] Barkhausen, Elektronenröhren, Band I, 4. Aufl., S. 107.
[17] Funktechn. Arbeitsblätter WK 14.
[18] Richter-Voß, Bauelemente der Feinmechanik, 2. Aufl., S. 25.
[19] Espe, Feinmechanik und Präzision 1939, 225 und 257.
[20] te Gude, Funk-Praxis 1949, 69 und 148.
[21] Funk 1943, 201.
[22] D.R.P. 329 731 (Huth).
[23] Schwandt, Funk 1935, 679.
[24] Ratheiser, Rundfunkröhren, 4. Aufl. 1939, 161.
[25] Ratheiser, Rundfunkröhren, Neuausgabe 1949.
[26] Tromp, Phil. Techn. Rdsch. 6/1941, 321.
[27] Funk-Praxis 1949, 224.
[28] Loosjes u. Vink, Phil. Techn. Rdsch. März 1950, 275.
[29] Jonker, Phil. Research Reports 4/1949, 357.
[30] Strutt, Mehrgitterelektronenröhren, Band I, 1937, 24.
[31] Tillmann, Telefunkenröhre, H. 10, 171.
[32] D.R.P. 639 030 (Dr. Nickel).
[33] D.R.P. 596 877 (Philips).
[34] D.R.P. 598 547 (Philips).
[35] D.R.P. 612 102.
[36] D.R.P. 567 909 (Siemens-Schuckert).
[37] D.R.P. 631 279 (Dällenbach, Zürich).
[38] D.R.P. 608 596 (AEG).
[39] D.R.P. 612 693 (Dr. Nickel).
[40] D.R.P. 625 602 (Philips).
[41] D.R.P. 600 970 (Dr. Nickel).
[42] Kettel, Telefunkenröhre, Beilage zu H. 13, 105.
[43] Graffunder und Rothe, Telefunkenröhre, H. 6, 35.
[44] Graffunder und Rothe, Telefunkenröhre, H. 8, 147.
[45] Oertel, Telefunkenröhre, H. 12, 7.
[46] Heinze und Wagener, ZS. techn. Phys. 18/1937, 75.
[47] Wagener, ZS. techn. Physik 18/1937, 270.
[48] Strutt, Mehrgitterelektronenröhren, Band II, 80.
[49] Strutt, Mehrgitterelektronenröhren, Band I, 93, Berlin 1937.

[50] Kleen und Wilhelm, Telefunkenröhre, H. 12, 1.
[51] Daene, Telefunkenröhre, H. 19/20, 152.
[52] Kammerloher, Hochfrequenztechnik II, 80—90, Leipzig 1939.
[53] Rathelser, Funk 1941, 129.
[54] Barkhausen, Elektronenröhren, Band I, 4. Aufl., 82.
[55] Strutt, Mehrgitterelektronenröhren, Band I, 115, Berlin 1937.
[56] D.R.P. 606 076 (TeKaDe).
[57] Rafa 12/1933, 322.
[58] D.R.P. 645 892 (Telefunken).
[59] Mie, Telefunkenröhre, H. 12, 18.
[60] El. Engineering, Dec. 1947.
[61] Sheils, Beam Valves, Popular Wireless, Februar 1937.
[62] Jonker, Phil. Techn. Rdsch. 5/1940, 131.
[63] D.R.P. 564 296 (Telefunken).
[64] Espe und Kosack, Feinmechanik und Präzision, 1938, 329.
[65] Espe und Kosack, Feinmechanik und Präzision, 1939, 1 und 29.
[66] Richter-Voß, Bauelemente der Feinmechanik, 2. Aufl., S. 15.
[67] D.R.P. 629 848 (RCA).
[68] Stürner, Elektronenröhre, Sammlung Göschen Nr. 974.
[69] D.R.P. 625 330 (Siemens-Reiniger).
[70] D.R.P. 597 960 (Dr. Nickel).
[71] D.R.P. 606 547 (Loewe).
[72] D.R.P. 598 763 (Loewe).
[73] Richter-Voß, Bauelemente der Feinmechanik, 2. Aufl., S. 45.
[74] FIAT-Berichte, Bd. 15, Dieterich'sche Verlagsbuchhandlung, Wiesbaden.
[75] Philips, Elektronenröhren I, 40 ff.
[76] Daltell, Electronics, April 1949, 164.
[77] Electronics, June 1949, 168.

b] Sonstige Literatur:

1. Literaturübersicht ATM J 8330—1.
2. Theile und te Gude, Funk 1940, 289 und 1941, 67.
3. Bergtold, Funk 1936, 327.
4. Barkhausen, Elektronenröhren, Band I bis IV.
5. Kammerloher, Hochfrequenztechnik, Band II.
6. ATM J 833.
7. Espe und Knoll, Werkstoffkunde der Hochvakuumtechnik.
8. Schwandt, FUNKSCHAU 1933, 257.
9. Bleich, Funk 1939, 281.
10. Strutt und Ziel, Phil. Techn. Rdsch. 5/1940, 365.
11. Metcalf und Thompson, Phys. Rev. 36/1930, 1489.
12. Siemens Wiss. Veröff. I, 2, 104 (Wärmedrosseln bei Durchführungen).
13. Zieler, Die Allgemeine Rundfunk-Technik, März 1949, 85.
14. Prakke, Jonker und Strutt, Wireless Engineer 1939, 224.
15. Philips Bücherreihe über Elektronenröhren.

c] Nach Drucklegung bekanntgewordene neuere wichtige Literatur:

1. Naturforschung und Medizin in Deutschland 1939—1946 (FIAT-Berichte), Band 15, S. 115—145 (Dieterich'sche Verlagsbuchhandlung, Wiesbaden).
2. Electronics 1949, April, 164/Juni, 168/Okt., 164, 190.
3. Funktechnik 1949, 429, 461, 623.
4. Funk und Ton 1949, 172.
5. Radio-Mentor 1950, 162.

Röhrentechnische Literatur

RÖHRENMESSTECHNIK. Brauchbarkeits- und Fehlerbestimmung an Radioröhren. Von Helmut Schweitzer. 192 Seiten mit 118 Bildern und vielen Tabellen. Format A 5 (148 × 210 mm). **Preis** kart. 12 DM, Halbleinen 13,80 DM. **Neuerscheinung 1950.**

RÖHREN-DOKUMENTE. Daten, Kennlinien und Schaltungen der deutschen Rundfunkröhren und ausführliche Anwendungsbeispiele. Von Fritz Kunze. Das große Röhren-Ringbuch in Einzel-Lieferungen. Jede Lieferung hat 40 Seiten DIN A 5 = 148 × 210 mm und je etwa 100 Bilder. **Preis** ab Lieferung 6 je 3,50 DM zuzügl. 10 Pfg. Versandkosten. Verbilligter Sammelband mit Lieferung 1 bis 5 12 DM. Halbleinen-Ordner mit stabiler Mechanik für die Aufbewahrung der Lieferungen 4 DM zuzügl. 40 Pfg. Versandkosten.

RÖHREN-TASCHEN-TABELLE. Von Fritz Kunze. 2. Auflage. 136 Seiten im Format 12,5 × 17,5 cm, in dauerhaftem mehrfarbigem Kartonumschlag, in Inhalt und praktischer Brauchbarkeit weit über unsere bisherigen Rohrentabellen hinausgehend. **Preis** 2,50 DM zuzügl. 20 Pfg. Versandkosten. **Neuauflage Herbst 1950.**

RÖHREN-VERGLEICHSTABELLEN. Ausführliche Vergleichs- und Datentabellen für europäische und amerikanische Radioröhren. Bearbeitet von Werner Trieloff. 176 Seiten mit 445 Abb. auf Kunstdruckpapier. Format A 4 (210 × 297 mm). **Preis** kart. 8 DM, zuzügl. 60 Pfg. Versandkosten.

AMERIKANISCHE RÖHREN. Ausführliche Betriebsdaten und Sockelschaltungen amerikanischer Röhren mit Vergleichsliste amerikanischer Röhren untereinander sowie gegen deutsche Röhren nebst näherer Anleitung zur Instandsetzung amerikanischer Geräte. Von Fritz Kunze. 64 Seiten mit 23 Tabellen, 70 Bildern im Text und 422 Sockelschaltungen. Format 225 × 305 mm. **Preis** 6,30 DM zuzügl. 20 Pfg. Versandkosten.

TABELLE DER ENGLISCHEN DIENSTRÖHREN. Von Fritz Kunze. 12 Seiten mit 6 Einzeltabellen und 127 Sockelschaltungen. Format A 4 (210 × 297 mm). **Preis** 2 DM, zuzügl. 10 Pfg. Versandkosten. **Neuerscheinung 1950.**

LEISTUNGS-RÖHRENPRÜFER MIT DRUCKTASTEN für Wechselstrom-Netzanschluß Funkschau-Bauheft M 1 neu. Von Erich Wrona. 16 Seiten mit 7 Bildern, 2 Plänen und einer großen Röhrenmeßtabelle von 16 Seiten, 2. Auflage. **Preis** 5 DM zuzügl. 20 Pfg. Versandkosten. **Neuauflage Herbst 1950.**

Zu beziehen durch jede Fachbuchhandlung oder unmittelbar vom

FRANZIS-VERLAG, MÜNCHEN 2, LUISENSTR. 17

RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

Verzeichnis der bisher erschienenen und der in Vorbereitung befindlichen Bände

Die neue U-Röhrenreihe und ihre Schaltungen **Nr. 1**
Von Hans Sutaner. Mit 50 Bildern und Schaltungen. Aufbau und Eigenschaften der U-Röhren mit Außenkontaktsockel, also der Röhren UBL 3, UCH 5, UF 5, UP 6, UL 2, UY 3, UY 4, ihre Daten, Kurven und ihre Schaltungen. Das Heft enthält eine Reihe wertvoller Geradeaus- und Super-Schaltungen mit U-Röhren mit ausführlichen Beschreibungen und allen technischen Daten.

Rimlock- und Pico-Röhren und ihre Schaltungen **Nr. 2**
Technische Einzelheiten über die neuen Kleinröhren, die jetzt auf dem deutschen Markt erscheinen, und über ihre Verwendung.

UKW-FM-Rundfunk in Theorie und Praxis **Nr. 3**
Von Herbert G. Mende. Mit 35 Bildern und 4 Tabellen. Warum UKW-Rundfunk, warum FM? Das Heft führt in die grundsätzlichen Vorteile des UKW-FM-Rundfunks ein, behandelt die Sendetechnik und die Antennen und gibt eine ausführliche Darstellung der Bausteine der UKW-FM-Empfangstechnik. Für Fachleute und Liebhaber gleich lesenswert.

UKW-Empfang mit Zusatzgeräten **Nr. 4**
Von Herbert G. Mende. Mit 16 Bildern und 9 Tabellen. Schaltung und Aufbau einfachster und kompliziertester Zusatzgeräte für UKW- und FM-Empfang.

Superhets für UKW-FM-Empfang **Nr. 5**
Von Herbert G. Mende. Will man die Vorteile der frequenzmodulierten UKW voll ausnutzen (höchste Wiedergabegüte und Störungsfreiheit), so verwendet man einen UKW-FM-Superhet.

Antennen für Rundfunk- und UKW-Empfang **Nr. 6**
Von Ingenieur Herbert G. Mende. Mit 30 Bildern und 5 Tabellen. Das moderne Antennenbuch, das alle Antennenfragen einschließlich der für UKW-Empfang erschöpfend behandelt.

Neuzeitliche Schallfolienaufnahme **Nr. 7**
Von Ingenieur Fritz Kühne. Mit 39 Bildern. Die Schallplatten-Selbstaufnahme, wie man sie früher nannte, ist in letzter Zeit erheblich verbessert worden. Der vorliegende Band gibt eine Darstellung der neuesten Technik.

Vielseitige Verstärkergeräte für Tonaufnahme und Wiedergabe **Nr. 8**
Von Ingenieur Fritz Kühne. Mit 36 Bildern. Tonaufnahme und Wiedergabe sind in erster Linie eine Frage leistungsfähiger und verzerrungsfreier Verstärker, wie sie hier in Schaltung und Aufbau ausführlich erörtert werden.

Magnetbandspieler-Praxis **Nr. 9**
Von Wolfgang Junghans. Mit 38 Bildern und 1 Tabelle. Wer sich mit dem Selbstbau eines Magnetbandspielers befassen will, muß die Technik der magnetischen Tonaufzeichnung in ihrer Gesamtheit beherrschen. Sie kennenzulernen, ist dieser Band bestimmt.

Selbstbau eines einfachen Magnetbandspielers **Nr. 10**
Das vorliegende Bändchen befaßt sich mit dem Bau eines Magnetbandspielers, teilweise aus industriellen, teils aus selbstgefertigten Einzelteilen.

Mikrofone, Aufbau, Verwendung und Selbstbau **Nr. 11**
Von Fritz Kühne. Mit 38 Bildern und 2 Tabellen. Die verschiedenen Bauarten von Mikrofonen, ihre Schaltung und Verwendung werden eingehend beschrieben, desgleichen solche Mikrofon-Typen, die sich für den Selbstbau eignen.

Röhrenmeßgeräte, Entwurf und Aufbau **Nr. 12**
Die Grundlagen des Röhrenmessens und die Schaltungen erprobter Röhrenmeßgeräte werden genau so ausführlich beschrieben, wie der Aufbau eines bewährten Universal-Röhrenmeßgerätes.

Fortsetzung siehe nächste Seite.

RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

Fortsetzung des Verzeichnisses

Schliche und Kniffe für Radiopraktiker Nr. 13

Von Fritz Kühne. Mit 57 Bildern. Dieses Buch bietet eine Sammlung der wertvollen Erfahrungen in Werkstatt und Labor, die dem praktisch tätigen Radiotechniker und Amateur bei seiner Arbeit nützlich sind.

Geheimnisse der Wellenlängen Nr. 14

Eine Einführung in die Wellenphysik, leicht verständlich und doch gründlich, die Geheimnisse der Strahlen und Schwingungen entschleiernd.

Moderne Zweikreis-Empfänger Nr. 15

Von Hans Sutaner. Mit 43 Bildern und Schaltungen. Der Bau von Radiogeräten, beim Einkreiser beginnend und über den Zweikreiser zum Super fortschreitend, ist immer noch das beste „Praktikum", um in die Radiotechnik einzudringen. Der vorliegende Band beschreibt Grundlagen und Aufbau von Zweikreis-Empfängern, besonders der beliebten Bandfilter-Ausführung, und bringt eine Anzahl erprobter Schaltungen mit allen Werten.

Widerstandskunde für Radiopraktiker Nr. 16

Von Dipl.-Ing. Georg Hoffmeister. Mit 9 Bildern, 4 Nomogrammen und 6 großen Zahlentafeln. Mit Widerständen hat der Radiopraktiker ständig zu tun. Die Widerstandskunde unterrichtet über Aufbau, Berechnung, Schaltung, kurz über alle Themen, die in der Radiotechnik mit Widerständen zusammenhängen.

Prüfsender für UKW-Empfänger Nr. 17

Von Dipl.-Ing. Rudolf Schiffel und Ing. Fritz Woletz. Mit 57 Abbildungen. UKW-Meßgeräte Teil 1. Der UKW-Rundfunk stellt auch an die Instandsetzer neue und besondere Anforderungen, sie müssen für die Prüfung und Instandsetzung der UKW-Empfänger gerüstet sein. Dazu brauchen sie Spezial-Meßgeräte, mit deren Entwurf, Bau und Eichung sich der vorliegende Band befaßt.

Radio-Röhren Nr. 18/19

Wie sie wurden, was sie leisten, und anderes, was nicht im Barkhausen steht. Von Herbert G. Mende. 198 Seiten mit 65 Bildern. **Doppelband. Preis: 1,80 DM.** So bequem die Eigenschaften der Radioröhren in Tabellen und Kurven ablesbar sind, so wenig ist ihren Verwendern gewöhnlich über den inneren Aufbau, ihre Technologie und Herstellung bekannt. In dieses hochinteressante Gebiet einzuführen, hat sich der vorliegende Doppelband der RPB zur Aufgabe gemacht. Es ist damit eine lesenswerte Ergänzung zu jedem Röhrenwerk, schafft er doch die „persönlichen
die eine wirklich erfolgreiche Röhren-

Methodische Fehlersuche in Rundfunk

Von Dr. A. Renardy. Mit 16 B
empfängern und vor allem die Fehler
eines Tieres, wie es der Jäger tun
Freude des Berufes eines Rundfunkm
listens enthält das vorliegende Buc
Strom- und Widerstandsanalyse, die
die Fehlersuche mit dem Katodenstra
Fehlersuche.

Zu beziehen durch jede Buch- ode
Fachhandlung oder direkt vo

FRANZIS-VERLA

München 2, Luisenstraße